

DOCKET NO.: 257161US2PCT

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

IN RE APPLICATION OF: Pierre-Yves THRO et al.

SERIAL NO.: NEW U.S. PCT APPLICATION

FILED: HERewith

INTERNATIONAL APPLICATION NO.: PCT/FR03/00956

INTERNATIONAL FILING DATE: March 26, 2003

FOR: HIGH PEAK POWER OPTICAL RESONATOR AND COMBINATION OF SEVERAL OF THESE OPTICAL RESONATORS, PARTICULARLY TO EXCITE A LIGHT GENERATOR IN THE EXTREME ULTRAVIOLET

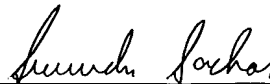
**REQUEST FOR PRIORITY UNDER 35 U.S.C. 119
AND THE INTERNATIONAL CONVENTION**Commissioner for Patents
Alexandria, Virginia 22313

Sir:

In the matter of the above-identified application for patent, notice is hereby given that the applicant claims as priority:

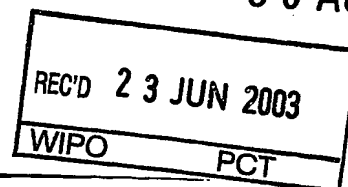
COUNTRY
France**APPLICATION NO**
02 03964**DAY/MONTH/YEAR**
28 March 2002

Certified copies of the corresponding Convention application(s) were submitted to the International Bureau in PCT Application No. PCT/FR03/00956. Receipt of the certified copy(s) by the International Bureau in a timely manner under PCT Rule 17.1(a) has been acknowledged as evidenced by the attached PCT/IB/304.

Respectfully submitted,
OBLON, SPIVAK, McCLELLAND,
MAIER & NEUSTADT, P.C.Marvin J. Spivak
Attorney of Record
Registration No. 24,913
Surinder Sachar
Registration No. 34,423Customer Number
22850(703) 413-3000
Fax No. (703) 413-2220
(OSMMN 08/03)



10/505164
PCT/FR 03/00956
Rec'd PCTO 30 AUG 2004



BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION

COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le 25 FEV. 2003

Pour le Directeur général de l'Institut
national de la propriété industrielle
Le Chef du Département des brevets

Martine PLANCHE

DOCUMENT DE PRIORITÉ

PRÉSENTÉ OU TRANSMIS
CONFORMÉMENT À LA
RÈGLE 17.1.a) OU b)

INSTITUT
NATIONAL DE
LA PROPRIÉTÉ
INDUSTRIELLE

SIEGE
26 bis, rue de Saint Petersburg
75800 PARIS cedex 08
Téléphone : 33 (0)1 53 04 53 04
Télécopie : 33 (0)1 53 04 45 23
www.inpi.fr

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 540 W / 260899

Réservé à l'INPI

REMISE DES PIÈCES

DATE

28 MARS 2002

LIEU

75 INPI PARIS 8

N° D'ENREGISTREMENT

0203964

NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI

DATE DE DÉPÔT ATTRIBUÉE

PAR L'INPI

28 MARS 2002

Vos références pour ce dossier

(facultatif) b14074.3/PV BD 1428

NOM ET ADRESSE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE
À QUI LA CORRESPONDANCE DOIT ÊTRE ADRESSÉE

BREVATOME

3 rue du Docteur Lancereaux

75008 PARIS

Confirmation d'un dépôt par télécopie

☐ N° attribué par l'INPI à la télécopie

2 NATURE DE LA DEMANDE

Cochez l'une des 4 cases suivantes

Demande de brevet

☒

Demande de certificat d'utilité

☐

Demande divisionnaire

☐

Demande de brevet initiale

N°

Date

ou demande de certificat d'utilité initiale

N°

Date

Transformation d'une demande de

brevet européen *Demande de brevet initiale*

☐

N°

Date

3 TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum)

CAVITE LASER DE FORTE PUISSANCE CRETE ET ASSOCIATION DE PLUSIEURS DE CES CAVITES,
NOTAMMENT POUR EXCITER UN GENERATEUR DE LUMIERE DANS L'EXTREME ULTRAVIOLET.

4 DÉCLARATION DE PRIORITÉ

OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE

LA DATE DE DÉPÔT D'UNE

DEMANDE ANTÉRIEURE FRANÇAISE

Pays ou organisation

Date

N°

Pays ou organisation

Date

N°

Pays ou organisation

Date

N°

☐ S'il y a d'autres priorités, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»

5 DEMANDEUR

☐ S'il y a d'autres demandeurs, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»

Nom ou dénomination sociale

COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE

Prénoms

Forme juridique

Etablissement public de caractère Scientifique, Technique et Industriel

N° SIREN

Code APE-NAF

Adresse

Rue

31-33 rue de la Fédération

Code postal et ville

75752 PARIS 15ème

Pays

FRANCE

Nationalité

FRANCAISE

N° de téléphone (facultatif)

N° de télécopie (facultatif)

Adresse électronique (facultatif)



BREVET D'INVENTION CERTIFICAT D'UTILITÉ

REQUÊTE EN DÉLIVRANCE 2/2

REMISE DES PIÈCES DATE 28 MARS 2002 LIEU 75 INPI PARIS B N° D'ENREGISTREMENT 0203964 NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI		Réservé à l'INPI		DB 540 W /2
Vos références pour ce dossier : <i>(facultatif)</i>		b14074.3/PV BD 1428		
6 MANDATAIRE				
Nom		LEHU		
Prénom		Jean		
Cabinet ou Société		BREVATOME 422.5/S002		
N° de pouvoir permanent et/ou de lien contractuel		7068 du 12.06.98		
Adresse	Rue	3 rue du Docteur Lancereaux		
	Code postal et ville	75008	PARIS	
N° de téléphone <i>(facultatif)</i>		01.53.83.94.00		
N° de télécopie <i>(facultatif)</i>		01.45.63.83.33		
Adresse électronique <i>(facultatif)</i>		brevets.patents@brevaalex.com		
7 INVENTEUR (S)				
Les inventeurs sont les demandeurs		<input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non Dans ce cas fournir une désignation d'inventeur(s) séparée		
8 RAPPORT DE RECHERCHE		Uniquement pour une demande de brevet (y compris division et transformation)		
Établissement immédiat ou établissement différé		<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
Paiement échelonné de la redevance		Paiement en trois versements, uniquement pour les personnes physiques <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non		
9 RÉDUCTION DU TAUX DES REDEVANCES		Uniquement pour les personnes physiques <input type="checkbox"/> Requête pour la première fois pour cette invention (joindre un avis de non-imposition) <input type="checkbox"/> Requête antérieurement à ce dépôt (joindre une copie de la décision d'admission pour cette invention ou indiquer sa référence):		
Si vous avez utilisé l'imprimé «Suite», indiquez le nombre de pages jointes				
10 SIGNATURE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE (Nom et qualité du signataire)		VISA DE LA PRÉFECTURE OU DE L'INPI MARTIN		

CAVITE LASER DE FORTE PUISSANCE CRETE ET ASSOCIATION DE
PLUSIEURS DE CES CAVITES, NOTAMMENT POUR EXCITER UN
GENERATEUR DE LUMIERE DANS L'EXTREME ULTRAVIOLET

5 .

DESCRIPTION

DOMAINE TECHNIQUE

La présente invention concerne une cavité laser de forte puissance crête et de puissance moyenne et de cadence de récurrence élevées, tout en étant de coût et de complexité minimisés. Elle concerne également l'association de plusieurs de ces cavités, notamment pour exciter un générateur de lumière dans l'extrême ultraviolet.

L'invention s'applique ainsi plus particulièrement à la génération de lumière dans le domaine extrême ultraviolet.

Les rayonnements appartenant à ce domaine, que l'on appelle également « rayonnements EUV », ont des longueurs d'onde qui vont de 8 nanomètres à 25 nanomètres.

Les rayonnements EUV que l'on peut obtenir en faisant interagir des impulsions lumineuses, engendrées avec le dispositif objet de l'invention, et une cible appropriée ont de nombreuses applications, notamment en science des matériaux, en microscopie et tout particulièrement en microlithographie, pour fabriquer des circuits intégrés à très haut degré d'intégration. Pour cette dernière application, il est particulièrement avantageux d'avoir une cadence de récurrence élevée, ce qui est très difficile à obtenir pour des lasers de forte puissance crête.

CAVITE LASER DE FORTE PUISSANCE CRETE ET ASSOCIATION DE
PLUSIEURS DE CES CAVITES, NOTAMMENT POUR EXCITER UN
GENERATEUR DE LUMIERE DANS L'EXTREME ULTRAVIOLET

5

DESCRIPTION

DOMAINE TECHNIQUE

La présente invention concerne une cavité laser
de forte puissance crête et de puissance moyenne et de
cadence de récurrence élevées, tout en étant de coût et
10 de complexité minimisés. Elle concerne également
l'association de plusieurs de ces cavités, notamment
pour exciter un générateur de lumière dans l'extrême
ultraviolet.

L'invention s'applique ainsi plus
15 particulièrement à la génération de lumière dans le
domaine extrême ultraviolet.

Les rayonnements appartenant à ce domaine, que
l'on appelle également « rayonnements EUV », ont des
longueurs d'onde qui vont de 8 nanomètres à 25
20 nanomètres.

Les rayonnements EUV que l'on peut obtenir en
faisant interagir des impulsions lumineuses, engendrées
avec le dispositif objet de l'invention, et une cible
appropriée ont de nombreuses applications, notamment en
25 science des matériaux, en microscopie et tout
particulièrement en microlithographie, pour fabriquer
des circuits intégrés à très haut degré d'intégration.
Pour cette dernière application, il est
particulièrement avantageux d'avoir une cadence de
30 récurrence élevée ce qui est très difficile à obtenir

L'invention s'applique à tout domaine qui nécessite un laser d'excitation du même genre que ceux dont on a besoin en microlithographie.

5. ETAT DE LA TECHNIQUE ANTERIEURE

La lithographie EUV est nécessaire en microélectronique pour la réalisation de circuits intégrés dont les dimensions sont inférieures à 0,1 micromètre. Parmi les sources de rayonnement EUV, plusieurs de ces sources utilisent un plasma engendré au moyen d'un laser.

On cherche en particulier à engendrer un rayonnement ultraviolet de longueur d'onde environ égale à 13nm en excitant un jet de xénon avec une source laser intense.

Pour que cette source laser soit satisfaisante du point de vue économique, trois conditions doivent être réunies :

- la puissance crête de la lumière laser doit être très importante (de l'ordre de 10^{11} W/cm²) afin de créer un plasma suffisamment émissif autour de 13nm,
- la cadence de répétition doit être élevée (plusieurs kilohertz) pour réaliser le plus grand nombre de tranches de semiconducteur (« wafers ») à l'heure, et
- la source laser doit être simple, avoir un coût d'investissement raisonnable et un coût de fonctionnement faible.

Pour la création du plasma, il faut donc disposer d'un laser engendrant un fort éclairement-

L'invention s'applique à tout domaine qui nécessite un laser d'excitation du même genre que ceux dont on a besoin en microlithographie.

5 ETAT DE LA TECHNIQUE ANTERIEURE

La lithographie EUV est nécessaire en microélectronique pour la réalisation de circuits intégrés dont les dimensions sont inférieures à 0,1 micromètre. Parmi les sources de rayonnement EUV,
10 plusieurs de ces sources utilisent un plasma engendré au moyen d'un laser.

On cherche en particulier à engendrer un rayonnement ultraviolet de longueur d'onde environ égale à 13nm en excitant un jet de xénon avec une
15 source laser intense.

Pour que cette source laser soit satisfaisante du point de vue économique, trois conditions doivent être réunies :

- la puissance crête de la lumière laser doit
20 être très importante (de l'ordre de 10^{11} W/cm²) afin de créer un plasma suffisamment émissif autour de 13nm,
- la cadence de répétition doit être élevée (plusieurs kilohertz) pour réaliser le plus
25 grand nombre de tranches de semiconducteur (« wafers ») à l'heure, et
- la source laser doit être simple, avoir un coût d'investissement raisonnable et un coût de fonctionnement faible.

30 Pour la création du plasma, il faut donc
pour ce laser engendrant un fort éclairement-

crête. On utilise à cet effet un laser impulsif, délivrant par exemple une énergie de l'ordre de 300 mJ par impulsion ou plus.

Indiquons dès à présent que l'invention utilise par exemple des lasers YAG dopés au néodyme, lasers qui ont connu de nombreux développements dans bien des domaines industriels. Cependant, d'autres lasers à solide, c'est à dire dont le milieu amplificateur est solide, sont utilisables dans la présente invention.

On reviendra sur ce point par la suite.

Pour obtenir une très bonne stabilité de l'énergie tir à tir, il est connu d'utiliser un pompage par diodes lasers.

En outre, pour obtenir la puissance-crête nécessaire à la génération de rayonnements EUV destiné à la photolithographie, il est connu d'utiliser des diodes impulsives.

A ce sujet on se reportera au document suivant :

[1] Article de H. Rieger et al., High brightness and power Nd:YAG laser, Advanced solid-state lasers, 1999, Boston MA, p.49 à 53.

Ce document divulgue un dispositif pour la photolithographie, générant des impulsions laser de forte amplitude crête à une cadence de récurrence relativement faible.

Également, pour obtenir la puissance-crête nécessaire, il est connu d'utiliser un oscillateur et des amplificateurs. Il en résulte un laser complexe et coûteux.

crête. On utilise à cet effet un laser impulsif, délivrant par exemple une énergie de l'ordre de 300 mJ par impulsion ou plus.

Indiquons dès à présent que l'invention utilise par exemple des lasers YAG dopés au néodyme, lasers qui ont connu de nombreux développements dans bien des domaines industriels. Cependant, d'autres lasers à solide, c'est à dire dont le milieu amplificateur est solide, sont utilisables dans la présente invention.

On reviendra sur ce point par la suite.

Pour obtenir une très bonne stabilité de l'énergie tir à tir, il est connu d'utiliser un pompage par diodes lasers.

En outre, pour obtenir la puissance-crête nécessaire à la génération de rayonnements EUV destiné à la photolithographie, il est connu d'utiliser des diodes impulsives.

A ce sujet on se reportera au document suivant :

[1] Article de H. Rieger et al., High brightness and power Nd:YAG laser, Advanced solid-state lasers, 1999, Boston MA, p.49 à 53.

Ce document divulgue un dispositif pour la photolithographie, générant des impulsions laser de forte amplitude crête à une cadence de récurrence relativement faible.

Également, pour obtenir la puissance-crête nécessaire, il est connu d'utiliser un oscillateur et des amplificateurs. Il en résulte un laser complexe et coûteux.

A ce sujet, on se reportera au document suivant :

[2] Article de G. Holleman et al., Modeling high brightness kW solid-state lasers, SPIE Vol. 2989, p.15 à 22.

Ce document mentionne deux besoins en lasers de puissance correspondant à deux technologies opposées :

d'une part, les applications de soudage, d'usinage ou de traitement des matériaux, qui nécessitent des lasers émettant des impulsions longues, obtenues par des technologies très simples, et

d'autre part, les applications de photolithographie qui nécessitent des impulsions brèves et, si possible, à haute cadence, obtenues par une technologie très sophistiquée et coûteuse, utilisant notamment deux étages d'amplification optique.

On se reportera aussi au document suivant, qui vise à obtenir un dispositif laser de forte puissance crête :

[3] Article de G. Kubiak et al., Scale-up of a cluster jet laser plasma source for Extreme Ultraviolet lithography, SPIE Vol. 3676, p.669 à 678.

Le dispositif décrit dans ce document [3] recourt à des lasers YAG dopés au néodyme, pompés par des diodes pulsées, comme dans le reste de l'art antérieur concernant la photolithographie. Il utilise en outre des amplificateurs optiques complexes et coûteux. De plus, la cadence de récurrence visée dans ce document [3] est de 6 kHz, pour une énergie par impulsion de 280 mJ.

A ce sujet, on se reportera au document suivant :

[2] Article de G. Holleman et al., Modeling high brightness kW solid-state lasers, SPIE Vol. 2989, p.15 à 22.

Ce document mentionne deux besoins en lasers de puissance correspondant à deux technologies opposées :

d'une part, les applications de soudage, d'usinage ou de traitement des matériaux, qui nécessitent des lasers émettant des impulsions longues, obtenues par des technologies très simples, et

d'autre part, les applications de photolithographie qui nécessitent des impulsions brèves et, si possible, à haute cadence, obtenues par une technologie très sophistiquée et coûteuse, utilisant notamment deux étages d'amplification optique.

On se reportera aussi au document suivant, qui vise à obtenir un dispositif laser de forte puissance crête :

[3] Article de G. Kubiak et al., Scale-up of a cluster jet laser plasma source for Extreme Ultraviolet lithography, SPIE Vol. 3676, p.669 à 678.

Le dispositif décrit dans ce document [3] recourt à des lasers YAG dopés au néodyme, pompés par des diodes pulsées, comme dans le reste de l'art antérieur concernant la photolithographie. Il utilise en outre des amplificateurs optiques complexes et coûteux. De plus, la cadence de récurrence visée dans ce document [3] est de 6 kHz, pour une énergie par impulsion de 280 mJ.

Une version perfectionnée de ce laser fait l'objet du document [6] discuté ci-dessous.

On se reportera aussi au document suivant :

[4] Article de H. Rieger et al., High
5 brightness and power Nd : YAG Laser, OSA Trends in
Optics and Photonics, Vol.26, from the topical Meeting
january 31, february 3 1999 à Boston, Optical Society
of America, p. 49 à 53

10 qui décrit sommairement un dispositif ayant un
oscillateur maître de très faible puissance délivrant
des impulsions de 1 mJ à une fréquence maximale de 1
KHz (donc de puissance moyenne au plus égale à 1W),
suivi d'une chaîne d'amplification complexe et
coûteuse. L'essentiel de l'article consiste à étudier
15 la dégradation de la qualité du faisceau dans cette
chaîne d'amplification. Le dispositif décrit reste loin
des performances requises pour une source EUV destinée
à la microlithographie, à la fois pour la puissance
moyenne et pour la fréquence de répétition.

20 En fait, les caractéristiques requises pour un
dispositif laser apte à exciter une source intense de
rayonnement EUV qui soit compatible avec les besoins de
l'industrie des semiconducteurs ont été standardisées à
l'échelle mondiale, sous la forme d'un cahier des
25 charges, et de nombreuses tentatives ont été faites
pour satisfaire ce cahier des charges.

Cependant, jusqu'à présent, toutes ces
tentatives ont échoué.

30 Parmi les contraintes fortes du cahier des
charges figure évidemment l'aptitude à engendrer de
fortes intensités crête avec une cadence de récurrence

Une version perfectionnée de ce laser fait l'objet du document [6] discuté ci-dessous.

On se reportera aussi au document suivant :

[4] Article de H. Rieger et al., High
5 brightness and power Nd : YAG Laser, OSA Trends in Optics and Photonics, Vol.26, from the topical Meeting january 31, february 3 1999 à Boston, Optical Society of America, p. 49 à 53

qui décrit sommairement un dispositif ayant un
10 oscillateur maître de très faible puissance délivrant des impulsions de 1 mJ à une fréquence maximale de 1 kHz (donc de puissance moyenne au plus égale à 1W), suivi d'une chaîne d'amplification complexe et coûteuse. L'essentiel de l'article consiste à étudier
15 la dégradation de la qualité du faisceau dans cette chaîne d'amplification. Le dispositif décrit reste loin des performances requises pour une source EUV destinée à la microlithographie, à la fois pour la puissance moyenne et pour la fréquence de répétition.

20 En fait, les caractéristiques requises pour un dispositif laser apte à exciter une source intense de rayonnement EUV qui soit compatible avec les besoins de l'industrie des semiconducteurs ont été standardisées à l'échelle mondiale, sous la forme d'un cahier des
25 charges, et de nombreuses tentatives ont été faites pour satisfaire ce cahier des charges.

Cependant, jusqu'à présent, toutes ces tentatives ont échoué.

Parmi les contraintes fortes du cahier des
30 charges figure évidemment l'aptitude à engendrer de fortes irradiances crête avec une cadence de répétition

très élevée. Mais il y a aussi la nécessité d'obtenir un faisceau de bonne qualité, caractérisé par une valeur la plus basse possible de la grandeur M^2 qui est définie, à une constante près, comme le produit du
 5 diamètre du faisceau par l'angle de sa divergence.

La limite inférieure théorique de M^2 est égale à 1 mais plus la puissance du laser est élevée, plus la valeur de M^2 augmente. Elle atteint couramment plusieurs dizaines avec un laser YAG dopé au néodyme,
 10 également appelé laser Nd : YAG.

Le cahier des charges mentionné plus haut impose $M^2 \leq 10$.

D'autres documents plus récents divulguent des dispositifs visant à satisfaire à ce cahier des charges
 15 :

[5] Article de K. Nicklaus et al., Industry-Laser Based Short Pulse Diode Pumped Solid State Power Amplifier With kW Average Power, OSA Trends in Optics and Photonics, Vol.50, Advanced Solid-State Lasers, Christopher Marshall, ed., Optical Society of America,
 20 2001, p. 388 à 391

qui décrit un dispositif dont la cavité laser délivre des impulsions de 4 mJ à 2 kHz (ou 8 mJ à 1 kHz) à un ensemble de deux préamplificateurs à double passage. Le trajet de retour du faisceau est défléchi par un cube polariseur vers une ligne de deux amplificateurs, dont la sortie délivre des impulsions de 76 mJ (la structure d'un tel dispositif est dite MOPA : Master Oscillator Power Amplifier).

[6] Article de D.A. Tichenor et al., EUV Engineering Test Stand, Emerging Lithographic

très élevée. Mais il y a aussi la nécessité d'obtenir un faisceau de bonne qualité, caractérisé par une valeur la plus basse possible de la grandeur M^2 qui est définie, à une constante près, comme le produit du
5 diamètre du faisceau par l'angle de sa divergence.

La limite inférieure théorique de M^2 est égale à 1 mais plus la puissance du laser est élevée, plus la valeur de M^2 augmente. Elle atteint couramment plusieurs dizaines avec un laser YAG dopé au néodyme,
10 également appelé laser Nd : YAG.

Le cahier des charges mentionné plus haut impose $M^2 \leq 10$.

D'autres documents plus récents divulguent des dispositifs visant à satisfaire à ce cahier des charges
15 :

[5] Article de K. Nicklaus et al., Industry-Laser Based Short Pulse Diode Pumped Solid State Power Amplifier With kW Average Power, OSA Trends in Optics and Photonics, Vol.50, Advanced Solid-State Lasers, Christopher Marshall, ed., Optical Society of America,
20 2001, p. 388 à 391

qui décrit un dispositif dont la cavité laser délivre des impulsions de 4 mJ à 2 kHz (ou 8 mJ à 1 kHz) à un ensemble de deux préamplificateurs à double
25 passage. Le trajet de retour du faisceau est défléchi par un cube polariseur vers une ligne de deux amplificateurs, dont la sortie délivre des impulsions de 76 mJ (la structure d'un tel dispositif est dite MOFA : Master Oscillator Power Amplifier).

30 [6] Article de D.A. Tichenor et al., EUV
High Power Picosecond Pulsed Laser

Technologies IV, Elisabeth A. Dobisz, Editor, Proceedings of SPIE Vol. 3997 (2000), p.48 à 69.

Cet article décrit une installation laser utilisant trois modules identiques mis en parallèle, chacun de ces modules étant constitué du laser réalisé par la Société TRW et décrit dans le document suivant :.

[7] Active Tracker Laser (ATLAS), Randall St. Pierre et al., OSA TOPS, Vol. 10, Advanced Solid State Lasers, 1997, p. 288 à 291 La cavité laser solide au Nd : YAG décrite dans le document [7] fournit des impulsions de 1,6 mJ à 2,5 kHz, qui sont amplifiées dans une structure à double passage délivrant en sortie des impulsions de 276 mJ. Une version un peu antérieure de ce laser TRW a été décrite dans le document [3].

Selon les documents [5] et [6], afin d'obtenir une puissance élevée avec une faible valeur M^2 , et des impulsions très courtes, on engendre des impulsions lumineuses dans un laser de base comportant un très petit oscillateur de faible énergie (moins de 10 mJ par impulsion) et de faible puissance moyenne (moins de 15W), et on les amplifie par de nombreux passages dans des étages amplificateurs à barreaux ou à plaques.

On se heurte alors au fait que, lorsque la puissance lumineuse incidente est faible devant la fluence de saturation du barreau laser utilisé (et en particulier pour des fluences incidentes inférieures à 200mJ/cm² pour le Nd : YAG), l'amplification apportée par le barreau est très faible. Il faut alors un nombre important de barreaux amplificateurs, qui sont extrêmement coûteux , et plusieurs dizaines de diodes

Technologies IV, Elisabeth A. Dobisz, Editor, Proceedings of SPIE Vol. 3997 (2000), p.48 à 69.

Cet article décrit une installation laser utilisant trois modules identiques mis en parallèle, chacun de ces modules étant constitué du laser réalisé par la Société TRW et décrit dans le document suivant :.

[7] Active Tracker Laser (ATLAS), Randall St. Pierre et al., OSA TOPS, Vol. 10, Advanced Solid State Lasers, 1997, p. 288 à 291

La cavité laser solide au Nd : YAG décrite dans le document [7] fournit des impulsions de 1,6 mJ à 2,5 kHz, qui sont amplifiées dans une structure à double passage délivrant en sortie des impulsions de 276 mJ. Une version un peu antérieure de ce laser TRW a été décrite dans le document [3].

Selon les documents [5] et [6], afin d'obtenir une puissance élevée avec une faible valeur M^2 , et des impulsions très courtes, on engendre des impulsions lumineuses dans un laser de base comportant un très petit oscillateur de faible énergie (moins de 10 mJ par impulsion) et de faible puissance moyenne (moins de 15W), et on les amplifie par de nombreux passages dans des étages amplificateurs à barreaux ou à plaques.

On se heurte alors au fait que, lorsque la puissance lumineuse incidente est faible devant la fluence de saturation du barreau laser utilisé (et en particulier pour des fluences incidentes inférieures à 200mJ/cm² pour le Nd : YAG), l'amplification apportée par le barreau est très faible. Il faut alors un nombre important de barreaux amplificateurs, qui sont

elles aussi très coûteuses, l'ensemble ayant un rendement énergétique très faible.

Afin de limiter le coût de l'installation, le ou les premiers étages sont généralement parcourus deux
5 fois (trajet aller-retour, d'où l'appellation d'amplificateur double passage), ce qui impose de travailler avec un faisceau polarisé et d'utiliser un polariseur (par exemple un cube polariseur) pour que le trajet de retour ne revienne pas sur l'oscillateur mais
10 soit aiguillé vers un autre chemin optique où l'amplification sera poursuivie.

Cette nécessité de polariser le faisceau induit un problème supplémentaire dans le cas où l'amplification double passage utilise comme barreau
15 amplificateur un matériau isotrope comme par exemple le Nd : YAG ou le Yb : YAG. De tels matériaux voient leur isotropie se modifier au moment du pompage, ce qui dégrade la polarisation du faisceau incidente.

Ainsi, si des dispositifs complexes n'étaient
20 pas mis en place pour limiter ce phénomène, la polarisation ne serait pas suffisamment maintenue, et une partie importante de l'énergie du faisceau (environ 25% pour le Nd : YAG) serait perdue lorsque le faisceau de retour entrerait dans le polariseur et
25 risquerait de détruire l'oscillateur.

Ces dispositifs complexes, c'est à dire essentiellement des associations de rotateurs de polarisation et de lames de phase judicieusement placées, limitent à une valeur faible la puissance du
30 faisceau retournant vers l'oscillateur (environ 2,4% pour le Nd : YAG).

extrêmement coûteux , et plusieurs dizaines de diodes
elles aussi très coûteuses, l'ensemble ayant un
rendement énergétique très faible.

Afin de limiter le coût de l'installation, le
5 ou les premiers étages sont généralement parcourus deux
fois (trajet aller-retour, d'où l'appellation
d'amplificateur double passage), ce qui impose de
travailler avec un faisceau polarisé et d'utiliser un
polariseur (par exemple un cube polariseur) pour que le
10 trajet de retour ne revienne pas sur l'oscillateur mais
soit aiguillé vers un autre chemin optique où
l'amplification sera poursuivie.

Cette nécessité de polariser le faisceau induit
un problème supplémentaire dans le cas où
15 l'amplification double passage utilise comme barreau
amplificateur un matériau isotrope comme par exemple le
Nd : YAG ou le Yb : YAG. De tels matériaux voient leur
isotropie se modifier au moment du pompage, ce qui
dégrade la polarisation du faisceau incident.

20 Ainsi, si des dispositifs complexes n'étaient
pas mis en place pour limiter ce phénomène, la
polarisation ne serait pas suffisamment maintenue, et
une partie importante de l'énergie du faisceau (environ
25% pour le Nd : YAG) serait perdue lorsque le
25 faisceau de retour entrerait dans le polariseur et
risquerait de détruire l'oscillateur.

Ces dispositifs complexes, c'est à dire
essentiellement des associations de rotateurs de
polarisation et de lames de phase judicieusement
30 placées, limitent à une valeur faible la puissance du

Ainsi, pour résoudre le problème de l'obtention d'un dispositif laser apte à exciter une source intense de rayonnement EUV qui soit compatible avec les besoins de l'industrie des semi-conducteurs, les auteurs du document [5], mais aussi ceux des documents [6] et [7], ont élaboré des impulsions les plus parfaites possibles mais de très faible puissance, puis ont multiplié le nombre d'amplificateurs et ont concentré tous leurs efforts sur la recherche de moyens permettant de limiter, dans ces amplificateurs, les pertes par dépolarisation.

Cette méthode conduit à des dispositifs complexes, coûteux, de faible rendement énergétique. En outre, pour les dispositifs décrits dans les documents [5] et [7], les principaux éléments sont placés en série. Ainsi toute panne de l'un d'eux affecte la totalité du dispositif.

Une autre méthode a été proposée dans le document suivant :

[8] Compact 300-W diode-pumped oscillator with 500kW pulse peak power and external frequency doubling, Oliver Mehl et al., OSA trends in Optics and Photonics (TOPS), Vol. 56, Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO 2001) 6-11 mai 2001, Technical Digest, pp. 421-422.

Ce document décrit un laser Nd : YAG comprenant, dans une cavité laser, deux barreaux en Nd : YAG, un rotateur de polarisation entre ces barreaux, deux modulateurs acousto-optiques respectivement de part et d'autre des deux barreaux et une lentille divergente

faisceau retournant vers l'oscillateur (environ 2,4% pour le Nd : YAG).

Ainsi, pour résoudre le problème de l'obtention d'un dispositif laser apte à exciter une source intense
5 de rayonnement EUV qui soit compatible avec les besoins de l'industrie des semi-conducteurs, les auteurs du document [5], mais aussi ceux des documents [6] et [7], ont élaboré des impulsions les plus parfaites possibles mais de très faible puissance, puis ont multiplié le
10 nombre d'amplificateurs et ont concentré tous leurs efforts sur la recherche de moyens permettant de limiter, dans ces amplificateurs, les pertes par dépolarisation.

Cette méthode conduit à des dispositifs
15 complexes, coûteux, de faible rendement énergétique. En outre, pour les dispositifs décrits dans les documents [5] et [7], les principaux éléments sont placés en série. Ainsi toute panne de l'un d'eux affecte la totalité du dispositif.

20

Une autre méthode a été proposée dans le document suivant :

[8] Compact 300-W diode-pumped oscillator with 500kW pulse peak power and external frequency doubling,
25 Oliver Mehl et al., OSA trends in Optics and Photonics (TOPS), Vol. 56, Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO 2001) 6-11 mai 2001, Technical Digest, pp. 421-422.

Ce document décrit un laser Nd : YAG comprenant, dans
30 une cavité laser, deux barreaux en Nd : YAG, un dispositif de polarisation entre ces barreaux, deux

entre chaque modulateur et le barreau correspondant. La puissance moyenne de sortie de la cavité du laser est de 260 W , avec une cadence de récurrence de 10 kHz.

5 Toutefois la réalisation décrite dans ce document ne prend pas en compte un problème important lié aux dispositifs de déclenchement des impulsions lumineuses, notamment acousto-optiques utilisés dans le laser décrit dans ce document : leur fonctionnement dépend de la divergence du faisceau laser.

10 Les déclencheurs acousto-optiques comportent essentiellement un cristal acousto-optique et un dispositif de commande, et fonctionnent comme suit.

15 . Lorsqu'il reçoit un signal électrique, le dispositif de commande émet dans le cristal une onde d'excitation radio-fréquence, qui génère dans ce cristal un réseau de Bragg. En l'absence d'excitation, ce cristal laisse passer les rayons incidents, qui, dans les conditions nominales de fonctionnement n'arrivent pas selon la normale à la face d'entrée du cristal, mais en faisant

20 avec elle un angle de Bragg.

Lorsque la commande est activée, l'onde radio-fréquence génère le réseau de Bragg, qui défléchit alors les rayons lumineux incidents ; l'angle de déflexion est suffisant pour que ces rayons sortent de la cavité

25 laser, ce qui correspond pour le laser à une coupure du faisceau.

Lorsque des rayons lumineux arrivent sur la face d'entrée du cristal en s'écartant de l'angle de Bragg, ils ne peuvent plus être défléchis convenablement,

30 notamment s'ils s'en écartent d'un angle limite ou supérieur à cet angle limite.

modulateurs acousto-optiques respectivement de part et d'autre des deux barreaux et une lentille divergente entre chaque modulateur et le barreau correspondant.

La puissance moyenne de sortie de la cavité du
5 laser est de 260 W , avec une cadence de récurrence de 10 kHz.

Toutefois la réalisation décrite dans ce document ne prend pas en compte un problème important lié aux dispositifs de déclenchement des impulsions lumineuses,
10 notamment acousto-optiques utilisés dans le laser décrit dans ce document : leur fonctionnement dépend de la divergence du faisceau laser.

Les déclencheurs acousto-optiques comportent essentiellement un cristal acousto-optique et un
15 dispositif de commande, et fonctionnent comme suit.

. Lorsqu'il reçoit un signal électrique, le dispositif de commande émet dans le cristal une onde d'excitation radio-fréquence, qui génère dans ce cristal un réseau de Bragg. En l'absence d'excitation, ce cristal laisse
20 passer les rayons incidents, qui, dans les conditions nominales de fonctionnement n'arrivent pas selon la normale à la face d'entrée du cristal, mais en faisant avec elle un angle de Bragg.

Lorsque la commande est activée, l'onde radio-fréquence génère le réseau de Bragg, qui défléchit alors les
25 rayons lumineux incidents ; l'angle de déflexion est suffisant pour que ces rayons sortent de la cavité laser, ce qui correspond pour le laser à une coupure du faisceau.

30 Lorsque des rayons lumineux arrivent sur la face d'entrée du cristal en s'écartant de l'angle de Bragg.

La valeur de cet angle limite est pratiquement la même que la valeur de l'angle qui existe entre les directions des faisceaux diffractés au premier et au second ordre par le réseau de Bragg formé dans ce cristal lorsqu'il est excité (typiquement environ 4 mrad).

Les rayons dont l'angle d'incidence est voisin de cet angle ne sont pas interceptés correctement lorsque le cristal est excité. Les rayons dont l'incidence dépasse cet angle ne sont pas non plus défléchis convenablement, mais en outre ils reviennent vers la partie centrale de la cavité laser puisque leur incidence est incluse dans l'acceptance angulaire de cette cavité.

Ils font alors émettre la cavité de manière non voulue, ce qui génère en sortie l'émission d'une certaine puissance de lumière laser continue. Le fonctionnement devient erratique, et à cette émission laser continue se superposent, en sortie de la cavité, des impulsions instables en amplitude et en durée.

Pour une même divergence du faisceau, l'instabilité croît lorsque la puissance impulsionnelle demandée à la cavité augmente.

25 ~~16~~

EXPOSÉ DE L'INVENTION

La présente invention a pour but de résoudre à la fois les problèmes inhérents aux structure MOPA mises en œuvre dans les réalisations décrites par les des documents [5] à [7], et les problèmes inhérents aux

ils ne peuvent plus être défléchis convenablement, notamment s'ils s'en écartent d'un angle limite ou supérieur à cet angle limite.

La valeur de cet angle limite est pratiquement la même
5 que la valeur de l'angle qui existe entre les directions des faisceaux diffractés au premier et au second ordre par le réseau de Bragg formé dans ce cristal lorsqu'il est excité (typiquement environ 4 mrad).

10 Les rayons dont l'angle d'incidence est voisin de cet angle ne sont pas interceptés correctement lorsque le cristal est excité. Les rayons dont l'incidence dépasse cet angle ne sont pas non plus défléchis convenablement, mais en outre ils reviennent vers la
15 partie centrale de la cavité laser puisque leur incidence est incluse dans l'acceptance angulaire de cette cavité.

Ils font alors émettre la cavité de manière non voulue, ce qui génère en sortie l'émission d'une certaine
20 puissance de lumière laser continue. Le fonctionnement devient erratique, et à cette émission laser continue se superposent, en sortie de la cavité, des impulsions instables en amplitude et en durée.

Pour une même divergence du faisceau, l'instabilité
25 croît lorsque la puissance impulsienne demandée à la cavité augmente.

EXPOSÉ DE L'INVENTION

La présente invention a pour but de résoudre à
25 le problème des problèmes inhérents aux structures MOFA
pour les lasers à semi-conducteurs.

structures ayant un oscillateur délivrant une puissance élevée mais dont la stabilité est affectée par les limitations des déclencheurs acousto-optiques, comme dans l'aréalisation= décrite dansle document [8].

5 L'invention vise à les résoudre, au moyen d'une cavité laser susceptible d'avoir une forte puissance crête et une cadence de récurrence élevée, et ~~de~~ ^{au} moyen de l'association de cette cavité avec d'autres ~~cavités~~ ^{plus petites} identiques pour constituer un dispositif laser qui
10 permet d'atteindre des performances ~~en ce qui concerne~~ ^{plus élevées} la ~~plus élevée~~ ^{plus élevée} puissance crête, ~~et fréquence de~~ ^{et fréquence de} ~~récurrence~~ ^{récurrence}, que les dispositifs divulgués par les documents [5] à [8], tout en étant moins complexe, moins coûteux et de fonctionnement plus fiable .

15 Il convient en outre de noter que les dispositifs lasers divulgués par le document [5] visent à obtenir des durées d'impulsions courtes, de 5ns à 20ns, ce que l'homme du métier considère comme favorable à l'obtention d'un plasma très émissif.

20 De façon précise, la présente invention a pour objet une cavité laser (en anglais : "optical resonator") à milieu amplificateur solide, cette cavité laser étant impulsionnelle et pompée par des diodes fonctionnant de façon continue, caractérisée en ce
25 qu'elle comprend :

- au moins deux barreaux laser, au moins un moyen de déclenchement des impulsions optiques, situé dans la partie de la cavité où le faisceau diverge le moins, et

des documents [5] à [7], et les problèmes inhérents aux structures ayant un oscillateur délivrant une puissance élevée mais dont la stabilité est affectée par les limitations des déclencheurs acousto-optiques, comme
5 dans la réalisation décrite dans le document [8].

L'invention vise à les résoudre, au moyen d'une cavité laser susceptible d'avoir une forte puissance crête et une cadence de récurrence élevée, et au moyen de l'association de cette cavité avec d'autres cavités
10 identiques pour constituer un dispositif laser qui permet d'atteindre des performances plus élevées en ce qui concerne la puissance crête, que les dispositifs divulgués par les documents [5] à [8], tout en étant moins complexe, moins coûteux et de fonctionnement plus
15 fiable .

Il convient en outre de noter que les dispositifs lasers divulgués par le document [5] visent à obtenir des durées d'impulsions courtes, de 5ns à 20ns, ce que l'homme du métier considère comme
20 favorable à l'obtention d'un plasma très émissif.

De façon précise, la présente invention a pour objet une cavité laser (en anglais : "optical resonator") à milieu amplificateur solide, cette cavité laser étant impulsionnelle et pompée par des diodes
25 fonctionnant de façon continue, caractérisée en ce qu'elle comprend :

- au moins deux barreaux laser, au moins un moyen de déclenchement des impulsions optiques, situé dans la partie de la cavité où le faisceau diverge le moins, et

- deux miroirs qui délimitent cette cavité, l'un étant hautement réfléchissant et l'autre partiellement réfléchissant .

5 Dans le cas le plus simple d'une cavité à deux barreaux laser, la partie de la cavité où le faisceau diverge le moins est la partie située entre les deux barreaux.

10 A l'opposé, les parties de la cavité situées à l'extérieur des barreaux, entre l'un de barreaux et l'un des miroirs de la cavité, sont les parties où le faisceau diverge le plus.

15 La réalisation décrite par le document [8] place ~~ces~~ dans ces dernières les moyens de déclenchement *syent* des impulsions lumineuses, ce qui les expose aux dysfonctionnements évoqués dans l'état de la technique antérieure.

20 Si les barreaux laser sont en matériau isotrope comme le Nd : YAG ou le Yb : YAG, il est nécessaire, pour obtenir la qualité de faisceau spécifiée pour l'industrie de la microlithographie, d'ajouter dans la cavité, sur le trajet du faisceau, un moyen de rotation de la polarisation, dans chacun des espaces constitués par deux barreaux successifs, cette rotation étant préférentiellement de 90°.

25 De façon avantageuse, on corrige la légère convergence que produisent certains barreaux laser, notamment en Nd : YAG, en plaçant sur le faisceau, au milieu de chaque intervalle entre deux barreaux adjacents, une lentille ayant un effet opposé sur la
30 convergence.

- deux miroirs qui délimitent cette cavité, l'un étant hautement réfléchissant et l'autre partiellement réfléchissant .

5 Dans le cas le plus simple d'une cavité à deux barreaux laser, la partie de la cavité où le faisceau diverge le moins est la partie située entre les deux barreaux.

10 A l'opposé, les parties de la cavité situées à l'extérieur des barreaux, entre l'un de barreaux et l'un des miroirs de la cavité, sont les parties où le faisceau diverge le plus.

15 La réalisation décrite par le document [8] place dans ces dernières les moyens de déclenchement des impulsions lumineuses, ce qui les expose aux dysfonctionnements évoqués dans l'état de la technique antérieure.

20 Si les barreaux laser sont en matériau isotrope comme le Nd : YAG ou le Yb : YAG, il est nécessaire, pour obtenir la qualité de faisceau spécifiée pour l'industrie de la microlithographie, d'ajouter dans la cavité, sur le trajet du faisceau, un moyen de rotation de la polarisation, dans chacun des espaces constitués par deux barreaux successifs, cette rotation étant préférentiellement de 90°.

25 De façon avantageuse, on corrige la légère convergence que produisent certains barreaux laser, notamment en Nd : YAG, en plaçant sur le faisceau, au milieu de chaque intervalle entre deux barreaux adjacents, une lentille ayant un effet opposé sur la
30 convergence.

Selon un mode de réalisation préféré du dispositif objet de l'invention, le matériau des barreaux laser est choisi dans le groupe comprenant Nd : YAG, Nd : YLF, Nd : YALO, Yb : YAG, Nd : ScO₃ et
5 Yb : Y₂O₃.

De préférence, la cavité objet de l'invention comprend deux barreaux en matériau laser, de préférence sensiblement identiques, des moyens de rotation de polarisation placés dans la cavité, entre
10 ces deux barreaux, et deux moyens de déclenchement des impulsions, placés entre les deux barreaux, de part et d'autre des moyens de rotation de polarisation .

De préférence, les moyens de déclenchement sont de type acousto-optique.

15 La cavité laser selon l'invention peut, selon une variante de réalisation, être associée à un ou plusieurs amplificateurs laser à simple passage, pompés par diodes, le barreau de chaque amplificateur étant sollicité sur toute sa longueur à la fluence de
20 saturation du matériau du barreau ou au dessus de cette fluence.

De façon préférentielle, cette fluence atteint au moins trois fois la fluence de saturation du matériau.

25 Fonctionnellement, la cavité laser est caractérisée par son aptitude à délivrer, de manière stable, une fluence élevée, sans qu'il soit nécessaire de faire converger le faisceau qu'elle engendre. Elle peut conserver le parallélisme de ce faisceau et
30 atteindre ou dépasser cette fluence de saturation sur toute la longueur du barreau.

Selon un mode de réalisation préféré du dispositif objet de l'invention, le matériau des barreaux laser est choisi dans le groupe comprenant Nd : YAG, Nd : YLF, Nd : YALO, Yb : YAG, Nd : ScO_3 et
5 Yb : Y_2O_3 .

De préférence, la cavité objet de l'invention comprend deux barreaux en matériau laser, de préférence sensiblement identiques, des moyens de rotation de polarisation placés dans la cavité, entre
10 ces deux barreaux, et deux moyens de déclenchement des impulsions, placés entre les deux barreaux, de part et d'autre des moyens de rotation de polarisation.

De préférence, les moyens de déclenchement sont de type acousto-optique.

15 La cavité laser selon l'invention peut, selon une variante de réalisation, être associée à un ou plusieurs amplificateurs laser à simple passage, pompés par diodes, le barreau de chaque amplificateur étant sollicité sur toute sa longueur à la fluence de
20 saturation du matériau du barreau ou au dessus de cette fluence.

De façon préférentielle, cette fluence atteint au moins trois fois la fluence de saturation du matériau.

25 Fonctionnellement, la cavité laser est caractérisée par son aptitude à délivrer, de manière stable, une fluence élevée, sans qu'il soit nécessaire de faire converger le faisceau qu'elle engendre. Elle peut conserver le parallélisme de ce faisceau et
30 atteindre ou dépasser cette fluence de saturation sur toute la longueur du barreau.

Dans l'application préférentielle qui sera détaillée ultérieurement, cette fluence vaut même une dizaine de fois la fluence de saturation du matériau.

5 L'invention concerne aussi l'association d'au moins trois cavités du type ci-dessus, , disposées en parallèle mais dont les faisceaux qu'elles engendrent sont dirigés vers une même cible.

10 Le dispositif laser résultant de cette association de ces cavités est caractérisé en ce qu'il comprend :

- au moins trois cavités laser (en anglais : "optical resonator") impulsionsnelles, à milieu amplificateur solide, ces cavités étant conformes à la cavité laser
- 15 objet de l'invention, et
- des moyens optiques d'envoi de ces impulsions lumineuses sensiblement au même endroit d'une cible et sensiblement en même temps à cet endroit,
- et en ce que le dispositif comprend en outre des moyens
- 20 de commande des cavités laser impulsionsnelles, ces moyens de commande étant prévus pour que toutes les impulsions parviennent sur la cible quasiment à l'instant voulu avec une précision meilleure que 5ns, et préférentiellement meilleure que 1ns.

25 Selon une variante, les cavités lasers sont associées à un ou plusieurs amplificateurs à simple passage.

30 Selon un mode de réalisation particulier du dispositif objet de l'invention, les moyens de déclenchement de chaque cavité laser impulsionsnelle

Dans l'application préférentielle qui sera détaillée ultérieurement, cette fluence vaut même une dizaine de fois la fluence de saturation du matériau.

5 L'invention concerne aussi l'association d'au moins trois cavités du type ci-dessus, disposées en parallèle mais dont les faisceaux qu'elles engendrent sont dirigés vers une même cible.

10 Le dispositif laser résultant de cette association de ces cavités est caractérisé en ce qu'il comprend :

- au moins trois cavités laser (en anglais : "optical resonator") impulsionnelles, à milieu amplificateur solide, ces cavités étant conformes à la cavité laser
15 objet de l'invention, et
- des moyens optiques d'envoi de ces impulsions lumineuses sensiblement au même endroit d'une cible et sensiblement en même temps à cet endroit,
et en ce que le dispositif comprend en outre des moyens
20 de commande des cavités laser impulsionnelles, ces moyens de commande étant prévus pour que toutes les impulsions parviennent sur la cible quasiment à l'instant voulu avec une précision meilleure que 5ns, et préférentiellement meilleure que 1ns.

25 Selon une variante, les cavités lasers sont associées à un ou plusieurs amplificateurs à simple passage.

Selon un mode de réalisation particulier du
30 dispositif objet de l'invention, les moyens de commande de chaque cavité laser impulsionnelle

comprennent deux déclencheurs placés dans cette cavité, de part et d'autre des moyens de rotation de polarisation, entre ces derniers et les barreaux en matériau laser.

5 Selon un mode de réalisation particulier de l'invention, les moyens d'envoi des impulsions lumineuses comprennent des moyens pour envoyer ces impulsions lumineuses sur la cible suivant le même trajet.

10 Selon un mode de réalisation particulier du dispositif objet de l'invention, ce dispositif comprend en outre des moyens de modification de la répartition spatiale de l'impulsion lumineuse résultant de l'addition des impulsions lumineuses fournies par les
15 cavités laser.

 Selon un autre mode de réalisation particulier, les moyens de commande des cavités laser sont en outre aptes à modifier la répartition temporelle de l'impulsion lumineuse résultant de l'addition des
20 impulsions lumineuses fournies par les cavités laser, afin de créer des impulsions composites.

 Selon un mode de réalisation particulier de l'invention, le profil de chaque impulsion composite comporte une première impulsion d'allumage du plasma
25 destiné à être créé par interaction des impulsions lumineuses avec la cible, un intervalle de temps où l'énergie est minimale pendant la croissance du plasma, puis une seconde impulsion, composée de plusieurs impulsions élémentaires, selon une séquence fonction de
30 la croissance du plasma.

comprennent deux déclencheurs placés dans cette cavité, de part et d'autre des moyens de rotation de polarisation, entre ces derniers et les barreaux en matériau laser.

5 Selon un mode de réalisation particulier de l'invention, les moyens d'envoi des impulsions lumineuses comprennent des moyens pour envoyer ces impulsions lumineuses sur la cible suivant le même trajet.

10 Selon un mode de réalisation particulier du dispositif objet de l'invention, ce dispositif comprend en outre des moyens de modification de la répartition spatiale de l'impulsion lumineuse résultant de l'addition des impulsions lumineuses fournies par les
15 cavités laser.

 Selon un autre mode de réalisation particulier, les moyens de commande des cavités laser sont en outre aptes à modifier la répartition temporelle de l'impulsion lumineuse résultant de l'addition des
20 impulsions lumineuses fournies par les cavités laser, afin de créer des impulsions composites.

 Selon un mode de réalisation particulier de l'invention, le profil de chaque impulsion composite comporte une première impulsion d'allumage du plasma
25 destiné à être créé par interaction des impulsions lumineuses avec la cible, un intervalle de temps où l'énergie est minimale pendant la croissance du plasma, puis une seconde impulsion, composée de plusieurs impulsions élémentaires, selon une séquence fonction de
30 la croissance du plasma.

Dans le cas où l'on crée les impulsions composites, le dispositif objet de l'invention est de préférence apte à envoyer un premier faisceau très focalisé sur la cible, puis à appliquer le reste de
5 l'énergie lumineuse sur la cible avec une focalisation plus large.

La cible sur laquelle on envoie les impulsions lumineuses émises par les cavités laser du dispositif objet de l'invention peut être prévue pour fournir une
10 lumière dans le domaine extrême ultraviolet par interaction avec ces impulsions lumineuses.

Cependant, la présente invention n'est pas limitée à l'obtention d'un rayonnement EUV. Elle s'applique à tout domaine où l'on a besoin de faisceaux
15 lasers à forte puissance crête, dirigés sur une cible.

Dans la présente invention, on utilise une superposition spatiale et, dans un mode de réalisation particulier, un séquençement temporel.

Par « superposition spatiale », on entend la
20 superposition d'une pluralité de faisceaux lasers sensiblement au même endroit de la cible, sensiblement au même moment.

« Sensiblement au même moment », signifie que les décalages temporels entre les diverses impulsions
25 élémentaires respectivement fournies par les cavités laser du dispositif laser sont faibles devant la période de récurrence de ces cavités laser. Cette superposition permet de multiplier l'énergie par impulsion et les puissances de crête.

30 Comme on le verra plus loin, une souplesse d'utilisation peut être obtenue avec une superposition

Dans le cas où l'on crée les impulsions composites, le dispositif objet de l'invention est de préférence apte à envoyer un premier faisceau très focalisé sur la cible, puis à appliquer le reste de
5 l'énergie lumineuse sur la cible avec une focalisation plus large.

La cible sur laquelle on envoie les impulsions lumineuses émises par les cavités laser du dispositif objet de l'invention peut être prévue pour fournir une
10 lumière dans le domaine extrême ultraviolet par interaction avec ces impulsions lumineuses.

Cependant, la présente invention n'est pas limitée à l'obtention d'un rayonnement EUV. Elle s'applique à tout domaine où l'on a besoin de faisceaux
15 lasers à forte puissance crête, dirigés sur une cible.

Dans la présente invention, on utilise une superposition spatiale et, dans un mode de réalisation particulier, un séquençement temporel.

Par « superposition spatiale », on entend la
20 superposition d'une pluralité de faisceaux lasers sensiblement au même endroit de la cible, sensiblement au même moment.

« Sensiblement au même moment », signifie que les décalages temporels entre les diverses impulsions
25 élémentaires respectivement fournies par les cavités laser du dispositif laser sont faibles devant la période de récurrence de ces cavités laser. Cette superposition permet de multiplier l'énergie par impulsion et les puissances de crête.

30 Comme on le verra plus loin, une souplesse d'ajustement peut être obtenue avec une superposition

des faisceaux lasers presque au même endroit et presque en même temps. Cette souplesse d'utilisation permet d'adapter le faisceau laser résultant aux exigences du plasma.

5 Dans la présente invention, les points (a) à (c) qui suivent sont importants.

a) La superposition spatiale

Elle permet d'augmenter la puissance crête et
10 de disposer d'une grande liberté de modification de la répartition spatiale de l'impulsion lumineuse qui résulte de l'addition des impulsions lumineuses élémentaires émises par les cavités laser.

Par exemple, l'utilisation d'une impulsion
15 lumineuse plus focalisée que les autres, utilisation qui est mise en œuvre dans un mode de réalisation préféré de l'invention, permet d'obtenir un éclaircissement localement plus grand, comme le montrent schématiquement les figures 1 et 2 où l'on ne
20 considère, pour simplifier, que deux faisceaux.

Un premier faisceau lumineux F1 et un deuxième faisceau lumineux F2 sont vus en coupe sur la figure 1, dans un plan qui est défini par deux axes perpendiculaires Ox et Oy, l'axe commun aux deux
25 faisceaux étant l'axe Oy.

Les deux faisceaux ont sensiblement une symétrie de révolution autour de cet axe Oy et sont focalisés au voisinage du point O, sensiblement dans le plan d'observation qui est défini par l'axe Oy et par
30 un axe perpendiculaire aux axes Ox et Oy et qui passe par le point O.

des faisceaux lasers presque au même endroit et presque en même temps. Cette souplesse d'utilisation permet d'adapter le faisceau laser résultant aux exigences du plasma.

5 Dans la présente invention, les points (a) à (c) qui suivent sont importants.

a) La superposition spatiale

Elle permet d'augmenter la puissance crête et
10 de disposer d'une grande liberté de modification de la répartition spatiale de l'impulsion lumineuse qui résulte de l'addition des impulsions lumineuses élémentaires émises par les cavités laser.

Par exemple, l'utilisation d'une impulsion
15 lumineuse plus focalisée que les autres, utilisation qui est mise en œuvre dans un mode de réalisation préféré de l'invention, permet d'obtenir un éclaircissement localement plus grand, comme le montrent schématiquement les figures 1 et 2 où l'on ne
20 considère, pour simplifier, que deux faisceaux.

Un premier faisceau lumineux F1 et un deuxième faisceau lumineux F2 sont vus en coupe sur la figure 1, dans un plan qui est défini par deux axes perpendiculaires Ox et Oy, l'axe commun aux deux
25 faisceaux étant l'axe Oy.

Les deux faisceaux ont sensiblement une symétrie de révolution autour de cet axe Oy et sont focalisés au voisinage du point O, sensiblement dans le plan d'observation qui est défini par l'axe Oy et par
30 un axe perpendiculaire aux axes Ox et Oy et qui passe par le point O.

Les focalisations des deux faisceaux sont différentes, le premier faisceau F1 étant plus focalisé que le second F2.

La figure 2 montre les variations de l'éclairement I dans le plan d'observation en fonction de l'abscisse x comptée sur l'axe Ox.

Si le faisceau F1 est cinq fois plus focalisé que le faisceau F2, l'éclairement que produit ce faisceau F1 sur l'axe Oy est multiplié par vingt cinq par rapport à celui qui est produit par ce faisceau F1 lorsque les deux faisceaux ont la même puissance. Mais il convient de noter que, dans la présente invention, on peut utiliser des faisceaux dont les puissances sont identiques ou, au contraire, différentes les unes des autres, voire très différentes les unes des autres.

Cette "superposition spatiale" de plusieurs faisceaux sur une même cible au même moment autorise le décalage, à une échelle de temps plus petite, des instants des impulsions de chaque cavité laser élémentaire.

(b) Le séquençement dans le temps des diverses impulsions laser (impulsions "composites")

Il est possible de créer des salves d'impulsions, dans lesquelles les décalages temporels entre deux impulsions de deux cavités laser élémentaires sont très faibles devant le temps de récurrence entre deux salves. De telles salves peuvent être considérées comme des impulsions composites.

On peut aussi, par un décalage temporel des impulsions lumineuses, créer une pré-impulsion.

Les focalisations des deux faisceaux sont différentes, le premier faisceau F1 étant plus focalisé que le second F2.

La figure 2 montre les variations de l'éclairement I dans le plan d'observation en fonction de l'abscisse x comptée sur l'axe Ox.

Si le faisceau F1 est cinq fois plus focalisé que le faisceau F2, l'éclairement que produit ce faisceau F1 sur l'axe Oy est multiplié par vingt cinq par rapport à celui qui est produit par ce faisceau F1 lorsque les deux faisceaux ont la même puissance. Mais il convient de noter que, dans la présente invention, on peut utiliser des faisceaux dont les puissances sont identiques ou, au contraire, différentes les unes des autres, voire très différentes les unes des autres.

Cette "superposition spatiale" de plusieurs faisceaux sur une même cible au même moment autorise le décalage, à une échelle de temps plus petite, des instants des impulsions de chaque cavité laser élémentaire.

(b) Le séquençement dans le temps des diverses impulsions laser (impulsions "composites")

Il est possible de créer des salves d'impulsions, dans lesquelles les décalages temporels entre deux impulsions de deux cavités laser élémentaires sont très faibles devant le temps de récurrence entre deux salves. De telles salves peuvent être considérées comme des impulsions composites.

On peut aussi, par un décalage temporel des impulsions laser, créer une pré-impulsion.

A ce sujet on pourra se reporter au document suivant qui mentionne la possibilité de créer une pré-impulsion chargée de l'allumage du plasma :

[9] Article de M. Berglund et al., Ultraviolet
5 prepulse for enhanced X-ray emission and brightness
from droplet-target laser plasma, Applied Physics
Letters, vol.69 , 1996, page 1683.

L'invention utilise, de préférence, ce
séquencement, dans le temps, des diverses impulsions
10 laser.

Elle permet, par exemple, le séquencement ci-
après.

Une première impulsion très focalisée sur la
cible (cette impulsion étant par exemple du genre du
15 faisceau F1 de la figure 1) allume un plasma, puis,
pendant le temps où le plasma croît, la cible est
soumise à un éclairage minimal ou nul, et lorsque le
plasma atteint le diamètre du faisceau F2, la cible est
soumise à un maximum de puissance lumineuse. Il est
20 alors avantageux de consacrer à la première impulsion
une énergie inférieure à celle consacrée au restant de
l'impulsion composite selon la Figure 3.

Sur cette figure 3, les amplitudes A des
impulsions lumineuses sont représentées en fonction du
25 temps t. On voit un exemple d'impulsion composite I1.
Cette dernière comprend une pré-impulsion ("prepulse")
I2 puis un premier ensemble d'impulsions élémentaires
simultanées I3, séparées de la pré-impulsion par un
temps T nécessaire à la croissance du plasma, puis un
30 deuxième ensemble d'impulsions élémentaires simultanées
I4 qui suit le premier ensemble.

A ce sujet on pourra se reporter au document suivant qui mentionne la possibilité de créer une pré-impulsion chargée de l'allumage du plasma :

[9] Article de M. Berglund et al., Ultraviolet
5 prepulse for enhanced X-ray emission and brightness
from droplet-target laser plasma, Applied Physics
Letters, vol.69 , 1996, page 1683.

L'invention utilise, de préférence, ce
séquencement, dans le temps, des diverses impulsions
10 laser.

Elle permet, par exemple, le séquencement ci-
après.

Une première impulsion très focalisée sur la
cible (cette impulsion étant par exemple du genre du
15 faisceau F1 de la figure 1) allume un plasma, puis,
pendant le temps où le plasma croît, la cible est
soumise à un éclaircissement minimal ou nul, et lorsque le
plasma atteint le diamètre du faisceau F2, la cible est
soumise à un maximum de puissance lumineuse. Il est
20 alors avantageux de consacrer à la première impulsion
une énergie inférieure à celle consacrée au restant de
l'impulsion composite selon la Figure 3.

Sur cette figure 3, les amplitudes A des
impulsions lumineuses sont représentées en fonction du
25 temps t. On voit un exemple d'impulsion composite I1.
Cette dernière comprend une pré-impulsion ("prepulse")
I2 puis un premier ensemble d'impulsions élémentaires
simultanées I3, séparées de la pré-impulsion par un
temps T nécessaire à la croissance du plasma, puis un
30 deuxième ensemble d'impulsions élémentaires simultanées
I4 qui suit le premier ensemble.

(c) L'utilisation de diodes continues pour le pompage
du matériau-laser

Dans le cas d'une cavité laser utilisant un
matériau YAG dopé avec du néodyme et un pompage
5 continu, la durée de vie du niveau supérieur de la
cavité laser, qui est voisine de 250 microsecondes,
oblige à travailler à une cadence supérieure à 5 kHz
pour bien extraire la puissance lumineuse déposée.

La présente invention, contrairement à l'art
10 antérieur, permet d'obtenir des puissances crête
élevées en associant un point défavorable à cette
puissance crête (point c), et un point favorable (point
a) dont le poids est d'autant plus important que l'on
augmente le nombre de cavités laser élémentaires.

15 Le point (b) ne constitue qu'une possibilité
d'adapter au mieux l'invention à ses applications.

Pour l'application à la micro-lithographie
cette possibilité permet d'optimiser le comportement de
la source EUV pompée par le dispositif laser à
20 d'éventuelles exigences du plasma.

Toutefois, dans l'état actuel des
connaissances, on considère préférable de faire arriver
toutes les impulsions au même instant, à mieux que 5 ns
près, voire à mieux que 1 ns près.

25 Dans la présente invention, on peut utiliser
simultanément les points (a), (b) et (c), et cette
association de points favorables et défavorables à
l'obtention de puissances crête élevées *ou à*
l'encontre de l'art antérieur.
Des avantages de la présente invention, outre
30 la génération d'impulsions laser de forte puissance et
de cadence élevée, sont mentionnés ci-après.

(c) L'utilisation de diodes continues pour le pompage
du matériau-laser

Dans le cas d'une cavité laser utilisant un
matériau YAG dopé avec du néodyme et un pompage
5 continu, la durée de vie du niveau supérieur de la
cavité laser, qui est voisine de 250 microsecondes,
oblige à travailler à une cadence supérieure à 5 kHz
pour bien extraire la puissance lumineuse déposée.

La présente invention, contrairement à l'art
10 antérieur, permet d'obtenir des puissances crête
élevées en associant un point défavorable à cette
puissance crête (point c), et un point favorable (point
a) dont le poids est d'autant plus important que l'on
augmente le nombre de cavités laser élémentaires.

15 Le point (b) ne constitue qu'une possibilité
d'adapter au mieux l'invention à ses applications.

Pour l'application à la micro-lithographie
cette possibilité permet d'optimiser le comportement de
la source EUV pompée par le dispositif laser à
20 d'éventuelles exigences du plasma.

Toutefois, dans l'état actuel des
connaissances, on considère préférable de faire arriver
toutes les impulsions au même instant, à mieux que 5 ns
près, voire à mieux que 1 ns près.

25 Dans la présente invention, on peut utiliser
simultanément les points (a), (b) et (c), et cette
association de points favorables et défavorables à
l'obtention de puissances crête élevées va à l'encontre
de l'art antérieur.

Le coût des diodes à puissance moyenne constante est nettement inférieur lorsque ces diodes fonctionnent en continu.

5 En outre, un dispositif laser conforme à l'invention peut être beaucoup plus simple que ceux de l'art antérieur car ce dispositif peut fonctionner sans utiliser la mise en série d'amplificateurs.

10 L'exploitation et la maintenance de ce dispositif laser sont moins coûteuses du fait du nombre réduit de composants optiques utilisés.

La mise en parallèle de plusieurs oscillateurs permet plus de souplesse d'utilisation.

15 L'augmentation du nombre de cavités laser permet aussi à un dispositif conforme à l'invention d'être moins sensible à un incident relatif aux performances instantanées de l'une des cavités laser.

BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

20 La présente invention sera mieux comprise à la lecture de la description d'exemples de réalisation donnés à titre purement indicatif et nullement limitatif, en faisant référence aux dessins annexés sur lesquels :

25 - les figures 1 et 2 illustrent schématiquement l'utilisation de deux faisceaux lasers focalisés différemment pour obtenir localement un grand éclairement et ont déjà été décrites,

30 - la figure 3 illustre schématiquement un exemple d'impulsion lumineuse composite utilisable dans la présente invention et a déjà été décrite,

Des avantages de la présente invention, outre la génération d'impulsions laser de forte puissance et de cadence élevée, sont mentionnés ci-après.

Le coût des diodes à puissance moyenne
5 constante est nettement inférieur lorsque ces diodes fonctionnent en continu.

En outre, un dispositif laser conforme à l'invention peut être beaucoup plus simple que ceux de l'art antérieur car ce dispositif peut fonctionner sans
10 utiliser la mise en série d'amplificateurs.

L'exploitation et la maintenance de ce dispositif laser sont moins coûteuses du fait du nombre réduit de composants optiques utilisés.

La mise en parallèle de plusieurs oscillateurs
15 permet plus de souplesse d'utilisation.

L'augmentation du nombre de cavités laser permet aussi à un dispositif conforme à l'invention d'être moins sensible à un incident relatif aux performances instantanées de l'une des cavités laser.

20

BREVE DESCRIPTION DES DESSINS

La présente invention sera mieux comprise à la lecture de la description d'exemples de réalisation donnés à titre purement indicatif et nullement
25 limitatif, en faisant référence aux dessins annexés sur lesquels :

- les figures 1 et 2 illustrent schématiquement l'utilisation de deux faisceaux lasers focalisés différemment pour obtenir localement un grand
I collectant les ont déjà été décrites,

- la figure 4 est une vue schématique de l'association de plusieurs cavités laser selon l'invention en vue de créer un dispositif d'excitation d'une source de lumière dans l'extrême ultraviolet,

5 - la figure 5 illustre schématiquement un mode de réalisation particulier de la cavité laser objet de l'invention, et

10 - les figures 6 et 7 illustrent schématiquement et partiellement d'autres exemples de l'invention, permettant un multiplexage spatial des faisceaux lasers élémentaires respectivement engendrés par plusieurs cavités laser..

EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS

15 Une cavité laser conforme à l'invention est représentée par la figure 5 sur laquelle on reviendra par la suite. Elle peut être suivie d'un ou plusieurs amplificateurs simple passage. L'association de plusieurs cavités laser impulsionnelles selon
20 l'invention en vue de créer un dispositif d'excitation d'une source de lumière dans l'extrême ultraviolet est schématiquement représentée sur la figure 4.

25 Le dispositif de la figure 4 comprend plus de trois cavités laser impulsionnelles, que l'on appelle aussi lasers impulsionnels, par exemple dix, mais seulement trois d'entre eux sont représentés sur cette figure 4 et ont respectivement les références 2, 4 et 6.

30 Les faisceaux lumineux 8, 10 et 12 (plus exactement les impulsions lumineuses), qui sont respectivement fournis par ces cavités laser

- la figure 3 illustre schématiquement un exemple d'impulsion lumineuse composite utilisable dans la présente invention et a déjà été décrite,

5 - la figure 4 est une vue schématique de l'association de plusieurs cavités laser selon l'invention en vue de créer un dispositif d'excitation d'une source de lumière dans l'extrême ultraviolet,

10 - la figure 5 illustre schématiquement un mode de réalisation particulier de la cavité laser objet de l'invention, et

- les figures 6 et 7 illustrent schématiquement et partiellement d'autres exemples de l'invention, permettant un multiplexage spatial des faisceaux lasers élémentaires respectivement engendrés par plusieurs
15 cavités laser..

EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS

Une cavité laser conforme à l'invention est représentée par la figure 5 sur laquelle on reviendra
20 par la suite. Elle peut être suivie d'un ou plusieurs amplificateurs simple passage.

L'association de plusieurs cavités laser impuls ionnelles selon l'invention en vue de créer un dispositif d'excitation d'une source de lumière dans
25 l'extrême ultraviolet est schématiquement représentée sur la figure 4.

Le dispositif de la figure 4 comprend plus de trois cavités laser impuls ionnelles, que l'on appelle aussi lasers impuls ionnels, par exemple dix, mais également trois d'entre eux sont représentés sur cette

impulsionnelles 2, 4 et 6, sont envoyés, par l'intermédiaire d'un ensemble de miroirs 14, sensiblement au même point P d'une cible 16 et sensiblement en même temps à ce point P.

5 On a également représenté les moyens 18 de commande des lasers, permettant d'obtenir les impulsions lumineuses.

On voit aussi sur la figure 4 des moyens de focalisation 20, 22 et 24 qui sont par exemple des
10 doublets achromatiques, prévus pour focaliser respectivement les faisceaux lumineux 8, 10 et 12 sur le point P de la cible 16.

Dans l'exemple considéré, les lasers et la cible sont choisis pour fournir, par interaction des
15 faisceaux lumineux avec cette cible, un rayonnement EUV 26. Pour ce faire, la cible comprend par exemple un jet 28 d'agrégats (par exemple de xénon) qui sont issus d'une buse 30.

On utilise par exemple ce rayonnement EUV
20 26 pour la microlithographie d'un circuit intégré 32. Le bloc 34 de la figure 4 symbolise les divers moyens optiques servant à mettre en forme le rayonnement EUV avant qu'il n'atteigne le circuit intégré 32.

Les lasers 2, 4 et 6 sont identiques ou
25 quasiment identiques et aptes à fournir des impulsions lumineuses.

Chacun d'entre eux comprend deux structures de pompage 36a et 36b dont l'aberration et la biréfringence sont faibles.

30 La structure 36a (respectivement 36b) comprend un barreau-laser 38a (respectivement 38b) qui

figure 4 et ont respectivement les références 2, 4 et 6.

Les faisceaux lumineux 8, 10 et 12 (plus exactement les impulsions lumineuses), qui sont
5 respectivement fournis par ces cavités laser impulsionnelles 2, 4 et 6, sont envoyés, par l'intermédiaire d'un ensemble de miroirs 14, sensiblement au même point P d'une cible 16 et sensiblement en même temps à ce point P.

10 On a également représenté les moyens 18 de commande des lasers, permettant d'obtenir les impulsions lumineuses.

On voit aussi sur la figure 4 des moyens de focalisation 20, 22 et 24 qui sont par exemple des
15 doublets achromatiques, prévus pour focaliser respectivement les faisceaux lumineux 8, 10 et 12 sur le point P de la cible 16.

Dans l'exemple considéré, les lasers et la cible sont choisis pour fournir, par interaction des
20 faisceaux lumineux avec cette cible, un rayonnement EUV 26. Pour ce faire, la cible comprend par exemple un jet 28 d'agrégats (par exemple de xénon) qui sont issus d'une buse 30.

On utilise par exemple ce rayonnement EUV
25 26 pour la microlithographie d'un circuit intégré 32. Le bloc 34 de la figure 4 symbolise les divers moyens optiques servant à mettre en forme le rayonnement EUV avant qu'il n'atteigne le circuit intégré 32.

Les lasers 2, 4 et 6 sont identiques ou
30 quasiment identiques et aptes à fournir des impulsions lumineuses.

est pompé par un ensemble de diodes lasers 40a (respectivement 40b) fonctionnant de façon continue.

Le matériau choisi pour nos expérimentations est le Nd : YAG, dont la fluence de saturation est 200 mJ/cm²;

Néanmoins il peut être avantageux de choisir un laser différent des autres pour créer la première impulsion dite "pré-impulsion" ("prepulse").

Chaque cavité laser produit directement une puissance de 300W à 10kHz, avec une qualité de faisceau compatible avec le multiplexage, la durée d'impulsion étant de 50ns et son énergie de 300 mJ. La fluence du faisceau à la sortie de la cavité est 2,3 J/cm², soit près de 10 fois la fluence de saturation du matériau Nd : YAG.

La focalisation du faisceau produit par chacun des lasers 2, 4 et 6 sur une zone de 50µm de diamètre de la cible conduit alors à une puissance crête de 3x10¹⁰W/cm² à 6x10¹⁰W/cm².

Or, pour obtenir une émissivité suffisante sur une cible de xénon liquide, une valeur de 5x10¹¹W/cm² est typiquement l'objectif à atteindre.

Ceci est donc obtenu en combinant 10 lasers ayant les performances mentionnées ci-dessus.

Dans l'exemple de la figure 4, on n'utilise aucun amplificateur de lumière avec les lasers 2, 4 et 6.

Cependant, on peut ajouter un tel amplificateur, voire plusieurs, à la suite de chaque cavité laser si cela s'avère nécessaire pour ajuster la

Chacun d'entre eux comprend deux structures de pompage 36a et 36b dont l'aberration et la biréfringence sont faibles.

La structure 36a (respectivement 36b) comprend un barreau-laser 38a (respectivement 38b) qui est pompé par un ensemble de diodes lasers 40a (respectivement 40b) fonctionnant de façon continue.

Le matériau choisi pour nos expérimentations est le Nd : YAG, dont la fluence de saturation est 200 mJ/cm^2 ;

Néanmoins il peut être avantageux de choisir un laser différent des autres pour créer la première impulsion dite "pré-impulsion" ("prepulse").

Chaque cavité laser produit directement une puissance de 300W à 10kHz, avec une qualité de faisceau compatible avec le multiplexage, la durée d'impulsion étant de 50ns et son énergie de 300 mJ. La fluence du faisceau à la sortie de la cavité est $2,3 \text{ J/cm}^2$, soit près de 10 fois la fluence de saturation du matériau Nd : YAG.

La focalisation du faisceau produit par chacun des lasers 2, 4 et 6 sur une zone de $50\mu\text{m}$ de diamètre de la cible conduit alors à une puissance crête de $3 \times 10^{10} \text{ W/cm}^2$ à $6 \times 10^{10} \text{ W/cm}^2$.

Or, pour obtenir une émissivité suffisante sur une cible de xénon liquide, une valeur de $5 \times 10^{11} \text{ W/cm}^2$ est typiquement l'objectif à atteindre.

Ceci est donc obtenu en combinant 10 lasers ayant les performances mentionnées ci-dessus.

puissance crête, à un optimum déterminé par l'expérience.

Compte tenu des caractéristiques de la cavité laser selon l'invention, ces amplificateurs
5 fonctionneraient avec un gain relativement faible, mais avec une extraction optimale de l'énergie déposée dans le barreau de cet amplificateur compte tenu de la fluence près de 10 fois supérieure à la fluence de saturation du matériau de ce barreau.

10 La figure 5 est une vue schématique d'une cavité laser impulsionnelle conforme à l'invention. Elle est constituée comme l'une quelconque des cavités 2, 4, 6 et comprend ainsi les structures 36a et 36b ainsi que les miroirs 42 et 44, le rotateur de
15 polarisation 46 et/ou la lentille 46a et les moyens de déclenchement d'impulsions 50 et 52 dont il sera question par la suite.

Dans une variante de réalisation on place à la sortie de cette cavité laser un amplificateur de
20 lumière 36c. Cet amplificateur 36c comprend un barreau-laser 38c à simple passage, qui est pompé par un ensemble de diodes-lasers 40c fonctionnant de façon continue.

Les moyens de commande 18 sont alors prévus
25 pour commander cet amplificateur 36c. Ce dernier est sensiblement identique aux structures 36a et 36b et son barreau-laser 38c est, de préférence, fait du même matériau-laser que les barreaux-lasers 38a et 38b.

Dans l'exemple de la figure 4, on n'utilise aucun amplificateur de lumière avec les lasers 2, 4 et 6.

5 Cependant, on peut ajouter un tel amplificateur, voire plusieurs, à la suite de chaque cavité laser si cela s'avère nécessaire pour ajuster la puissance crête, à un optimum déterminé par l'expérience.

10 Compte tenu des caractéristiques de la cavité laser selon l'invention, ces amplificateurs fonctionneraient avec un gain relativement faible, mais avec une extraction optimale de l'énergie déposée dans le barreau de cet amplificateur compte tenu de la fluence près de 10 fois supérieure à la fluence de saturation du matériau de ce barreau.

La figure 5 est une vue schématique d'une cavité laser impulsionnelle conforme à l'invention. Elle est constituée comme l'une quelconque des cavités 2, 4, 6 et comprend ainsi les structures 36a et 36b 20 ainsi que les miroirs 42 et 44, le rotateur de polarisation 46 et/ou la lentille 46a et les moyens de déclenchement d'impulsions 50 et 52 dont il sera question par la suite.

Dans une variante de réalisation on place à 25 la sortie de cette cavité laser un amplificateur de lumière 36c. Cet amplificateur 36c comprend un barreau-laser 38c à simple passage, qui est pompé par un ensemble de diodes-lasers 40c fonctionnant de façon continue.

30 Les moyens de commande 18 sont alors prévus pour commander cet amplificateur 36c. Ce dernier est

Ce matériau laser est choisi parmi Nd : YAG (matériau préféré), Nd : YLF, Nd : YALO, Yb : YAG, Nd : ScO₃ et Yb : Y₂O₃.

Revenons à la figure 4. Chaque cavité laser est
5 délimitée par un premier miroir 42 hautement réfléchissant (coefficient de réflexion R égal à 100% à par exemple 1064nm) et par un deuxième miroir 44 qui est partiellement réfléchissant (R de l'ordre de 70% à 80%) pour laisser passer le faisceau lumineux engendré
10 par cette cavité laser.

Ces miroirs sont préférentiellement courbes et leurs rayons de courbure sont calculés de manière à permettre au faisceau d'avoir une faible divergence, telle que le paramètre M^2 soit environ égal à 10.

15 De plus, la longueur de la cavité est choisie en fonction de la durée des impulsions.

Les deux miroirs courbes peuvent être remplacés par deux ensembles comprenant chacun une lentille divergente et un miroir plan.

20 Dans chacun des lasers 2, 4 et 6 on utilise de préférence des structures de pompage identiques pour compenser divers effets thermiques susceptibles d'apparaître. Mais il convient alors de disposer un rotateur de polarisation 46, de 90°, à un endroit
25 quelconque entre les deux barreaux-lasers 38a et 38b.

Au lieu du rotateur 46 on peut utiliser une lentille 46a légèrement divergente, exactement à mi-chemin entre les deux barreaux.

30 En variante, on peut utiliser cette lentille ainsi disposée et le rotateur 46, celui-ci étant encore entre les deux barreaux à côté de la lentille.

sensiblement identique aux structures 36a et 36b et son barreau-laser 38c est, de préférence, fait du même matériau-laser que les barreaux-lasers 38a et 38b.

5 Ce matériau laser est choisi parmi Nd : YAG (matériau préféré), Nd : YLF, Nd : YALO, Yb : YAG, Nd : ScO_3 et Yb : Y_2O_3 .

Revenons à la figure 4. Chaque cavité laser est délimitée par un premier miroir 42 hautement réfléchissant (coefficient de réflexion R égal à 100% à
10 par exemple 1064nm) et par un deuxième miroir 44 qui est partiellement réfléchissant (R de l'ordre de 70% à 80%) pour laisser passer le faisceau lumineux engendré par cette cavité laser.

Ces miroirs sont préférentiellement courbes et
15 leurs rayons de courbure sont calculés de manière à permettre au faisceau d'avoir une faible divergence, telle que le paramètre M^2 soit environ égal à 10.

De plus, la longueur de la cavité est choisie en fonction de la durée des impulsions.

20 Les deux miroirs courbes peuvent être remplacés par deux ensembles comprenant chacun une lentille divergente et un miroir plan.

Dans chacun des lasers 2, 4 et 6 on utilise de préférence des structures de pompage identiques pour
25 compenser divers effets thermiques susceptibles d'apparaître. Mais il convient alors de disposer un rotateur de polarisation 46, de 90° , à un endroit quelconque entre les deux barreaux-lasers 38a et 38b.

Au lieu du rotateur 46 on peut utiliser une
30 lentille 46a légèrement divergente, exactement à mi-chemin entre les deux barreaux-lasers.

Le diamètre de ces barreaux-lasers est compris entre 3 mm et 6 mm.

On utilise dans nos expérimentations des barreaux de 4mm de diamètre en Nd : YAG dopé à 1,1%.

5 De plus, dans l'exemple de la figure 4, chaque barreau de Nd : YAG est pompé par 40 diodes lasers, chacune de ces diodes ayant une puissance de 30W et émettant à 808nm.

10 De préférence, afin de minimiser les aberrations sphériques, le pompage de chaque barreau est homogène.

Pour rendre chaque laser impulsif, on dispose dans la cavité sur le chemin du faisceau, à l'endroit où il diverge le moins, c'est à dire entre
15 chacun des barreaux et le rotateur de polarisation, des moyens de déclenchement des impulsions acousto-optiques pour permettre un déclenchement à haute cadence de ces impulsions.

Chacun de ces déclencheurs acousto-optiques
20 utilise un cristal en silice, travaille en mode de compression avec une puissance de radio-fréquence de 90 W à 27 MHz, cette puissance étant appliquée sur le cristal par un transducteur de 4 mm.

Dans l'exemple de la figure 4, on utilise deux
25 déflecteurs acousto-optiques 50 et 52 du type défini ci-dessus, qui sont commandés par les moyens de commande 18 et disposés dans l'espace délimité par les barreaux-lasers 38a et 38b, de part et d'autre du rotateur de polarisation 46.

30 On utilise ces deux déflecteurs acousto-optiques 50 et 52 pour bloquer la cavité avec des gains

En variante, on peut utiliser cette lentille ainsi disposée et le rotateur 46, celui-ci étant encore entre les deux barreaux, à côté de la lentille.

Le diamètre de ces barreaux-lasers est compris
5 entre 3 mm et 6 mm.

On utilise dans nos expérimentations des barreaux de 4mm de diamètre en Nd : YAG dopé à 1,1%.

De plus, dans l'exemple de la figure 4, chaque
barreau de Nd : YAG est pompé par 40 diodes lasers,
10 chacune de ces diodes ayant une puissance de 30W et
émettant à 808nm.

De préférence, afin de minimiser les aberrations sphériques, le pompage de chaque barreau est homogène.

15 Pour rendre chaque laser impulsif, on dispose dans la cavité sur le chemin du faisceau, à l'endroit où il diverge le moins, c'est à dire entre chacun des barreaux et le rotateur de polarisation, des
20 moyens de déclenchement des impulsions acousto-optiques pour permettre un déclenchement à haute cadence de ces impulsions.

Chacun de ces déclencheurs acousto-optiques utilise un cristal en silice, travaille en mode de compression avec une puissance de radio-fréquence de
25 90 W à 27 MHz, cette puissance étant appliquée sur le cristal par un transducteur de 4 mm.

Dans l'exemple de la figure 4, on utilise deux déflecteurs acousto-optiques 50 et 52 du type défini
ci-dessus, qui sont commandés par les moyens de
30 commander 18 et disposés dans l'espace délimité par les

correspondant à la puissance moyenne mentionnée plus haut.

Les moyens de commande 18 déclenchent le fonctionnement de la source EUV et permettent d'adapter
5 ses caractéristiques aux besoins de la microlithographie. Le cas échéant, il déterminent la simultanéité des impulsions lumineuses des lasers 2, 4 et 6 au niveau de la cible.

Si les trajets optiques sont de longueurs
10 significativement différentes, ils permettent, en particulier, de compenser ces différences et de gérer les déclenchements de tous les défecteurs acousto-optiques que contient le dispositif de la figure 4 de manière à ce que le synchronisme soit réalisé pour les
15 impulsions lumineuses.

Les moyens de commande 18 comprennent :

- des moyens (non représentés) de génération des courants d'alimentation des diodes-lasers de pompage 40a et 40b (et éventuellement 40c) et
20 - des moyens (non représentés) de génération de courants de radio-fréquence modulée, destinés à commander chaque couple de défecteurs acousto-optiques 50 et 52 de manière quasiment synchrone le décalage de ces défecteurs étant de préférence inférieur à 1ns.

25 De plus, ces moyens de commande 18 sont prévus pour commander les lasers 2, 4 et 6 en fonction de signaux de mesure du rayonnement du plasma (engendré par interaction des faisceaux lasers avec la cible 16), fournis par un ou plusieurs capteurs appropriés tels
30 que le capteur 54, par exemple une ou plusieurs photodiodes au silicium rapides avec filtrage spectral

barreaux-lasers 38a et 38b, de part et d'autre du rotateur de polarisation 46.

On utilise ces deux déflecteurs acousto-optiques 50 et 52 pour bloquer la cavité avec des gains
5 correspondant à la puissance moyenne mentionnée plus haut.

Les moyens de commande 18 déclenchent le fonctionnement de la source EUV et permettent d'adapter ses caractéristiques aux besoins de la
10 microlithographie. Le cas échéant, il déterminent la simultanéité des impulsions lumineuses des lasers 2, 4 et 6 au niveau de la cible.

Si les trajets optiques sont de longueurs significativement différentes, ils permettent, en
15 particulier, de compenser ces différences et de gérer les déclenchements de tous les déflecteurs acousto-optiques que contient le dispositif de la figure 4 de manière à ce que le synchronisme soit réalisé pour les impulsions lumineuses.

20 Les moyens de commande 18 comprennent :

- des moyens (non représentés) de génération des courants d'alimentation des diodes-lasers de pompage 40a et 40b (et éventuellement 40c) et
- des moyens (non représentés) de génération de
25 courants de radio-fréquence modulée, destinés à commander chaque couple de déflecteurs acousto-optiques 50 et 52 de manière quasiment synchrone le décalage de ces déflecteurs étant de préférence inférieur à 1ns.

De plus, ces moyens de commande 18 sont prévus
30 pour commander les lasers 2, 4 et 6 en fonction de l'état de la source de rayonnement du plasma (candéla

; pour le rayonnement EUV, ce filtrage peut être effectué par du zirconium, et par un miroir multicouche Molybdène-Silicium, éventuellement doublé ; dans le cas où l'on observe la vitesse de croissance du plasma, il
 5 convient soit de modifier ce filtrage, soit d'adjoindre une ou plusieurs autres photodiodes rapides dont le filtrage est plus proche du spectre visible.

Les moyens de commandes 18 sont aussi prévus pour commander les lasers 2, 4 et 6 en fonction

- 10 - de signaux de mesure de l'énergie des impulsions lumineuses des lasers 2, 4 et 6, signaux qui sont respectivement fournis par des capteurs appropriés 56, 58 et 60, par exemple des photodiodes au silicium rapides avec des moyens intégrateurs, et
- 15 - de signaux de mesure des formes temporelles des impulsions lumineuses des lasers 2, 4 et 6, signaux qui sont respectivement fournis par trois capteurs appropriés 62, 64 et 66, par exemple des photodiodes au silicium rapides, qui peuvent être les mêmes capteurs
 20 que les capteurs 56, 58, 60 à ceci près que le signal est alors prélevé en amont des moyens intégrateurs.

On précise que les moyens optiques formés par les miroirs de déflexion 14 et les doublets achromatiques de focalisation 20, 22 et 24 sont choisis
 25 pour permettre une superposition spatiale avec des fluctuations de position qui sont inférieures à un faible pourcentage, par exemple de l'ordre de 1% à 10%, du diamètre de la tache focale (point P).

Le dispositif laser de la figure 4 comprend
 30 en outre des moyens prévus pour modifier la répartition spatiale de l'impulsion résultant de l'addition des

par interaction des faisceaux lasers avec la cible 16), fournis par un ou plusieurs capteurs appropriés tels que le capteur 54, par exemple une ou plusieurs photodiodes au silicium rapides avec filtrage spectral ; pour le rayonnement EUV, ce filtrage peut être effectué par du zirconium, et par un miroir multicouche Molybdène-Silicium, éventuellement doublé ; dans le cas où l'on observe la vitesse de croissance du plasma, il convient soit de modifier ce filtrage, soit d'adjoindre une ou plusieurs autres photodiodes rapides dont le filtrage est plus proche du spectre visible.

Les moyens de commandes 18 sont aussi prévus pour commander les lasers 2, 4 et 6 en fonction

- de signaux de mesure de l'énergie des impulsions lumineuses des lasers 2, 4 et 6, signaux qui sont respectivement fournis par des capteurs appropriés 56, 58 et 60, par exemple des photodiodes au silicium rapides avec des moyens intégrateurs, et

- de signaux de mesure des formes temporelles des impulsions lumineuses des lasers 2, 4 et 6, signaux qui sont respectivement fournis par trois capteurs appropriés 62, 64 et 66, par exemple des photodiodes au silicium rapides, qui peuvent être les mêmes capteurs que les capteurs 56, 58, 60 à ceci près que le signal est alors prélevé en amont des moyens intégrateurs.

On précise que les moyens optiques formés par les miroirs de déflexion 14 et les doublets achromatiques de focalisation 20, 22 et 24 sont choisis pour permettre une superposition spatiale avec des fluctuations de position qui sont inférieures à un

impulsions lumineuses respectivement émises par les lasers 2, 4 et 6. Ces moyens, symbolisés par les flèches 74, 76 et 78, sont par exemple prévus pour déplacer les doublets achromatiques 20, 22 et 24, de manière à modifier les tailles des taches focales respectivement fournies par ces doublets.

Les moyens de commande 18 peuvent être prévus pour décaler temporellement, les uns par rapport aux autres, les impulsions lumineuses émises par les lasers 2, 4 et 6, en décalant de façon appropriée les déclenchements des lasers les uns par rapport aux autres.

Il convient de noter que le dispositif laser de la figure 4 n'est pas polarisé, contrairement à d'autres dispositifs lasers connus, par exemple ceux qui sont décrits dans le document [5].

En fait, maintenir la polarisation avec des lasers à base de Nd : YAG est difficile et complique le dispositif. Or, la conception modulaire de l'invention avec un multiplexage spatial n'impose pas que le dispositif laser soit polarisé.

Si l'on vise les plus hautes cadences de répétition, supérieure ou égale à 10kHz, il est préférable de renoncer aux variantes utilisant un multiplexage temporel. Les impulsions issues des N lasers (N=10 par exemple) arrivent alors sur la cible exactement au même moment.

Une variante de réalisation de l'invention est schématiquement et partiellement représentée sur la figure 6. Dans cette variante, on met en œuvre un

faible pourcentage, par exemple de l'ordre de 1% à 10%, du diamètre de la tache focale (point P).

Le dispositif laser de la figure 4 comprend en outre des moyens prévus pour modifier la répartition spatiale de l'impulsion résultant de l'addition des impulsions lumineuses respectivement émises par les lasers 2, 4 et 6. Ces moyens, symbolisés par les flèches 74, 76 et 78, sont par exemple prévus pour déplacer les doublets achromatiques 20, 22 et 24, de manière à modifier les tailles des taches focales respectivement fournies par ces doublets.

Les moyens de commande 18 peuvent être prévus pour décaler temporellement, les uns par rapport aux autres, les impulsions lumineuses émises par les lasers 2, 4 et 6, en décalant de façon appropriée les déclenchements des lasers les uns par rapport aux autres.

Il convient de noter que le dispositif laser de la figure 4 n'est pas polarisé, contrairement à d'autres dispositifs lasers connus, par exemple ceux qui sont décrits dans le document [5].

En fait, maintenir la polarisation avec des lasers à base de Nd : YAG est difficile et complique le dispositif. Or, la conception modulaire de l'invention avec un multiplexage spatial n'impose pas que le dispositif laser soit polarisé.

Si l'on vise les plus hautes cadences de répétition, supérieure ou égale à 10kHz, il est préférable de renoncer aux variantes utilisant un multiplexage temporel. Les impulsions issues des N

multiplexage spatial des faisceaux laser 8, 10 et 12 avant des les focaliser sur la cible P.

Pour ce faire, on remplace les deux derniers miroirs 14 (haut de la figure 4), qui sont associés aux faisceaux 10 et 12, par deux miroirs percés 80 et 82, alignés avec le dernier miroir 14 (haut de la figure 4), qui est associé au faisceau 8.

Ainsi le miroir percé 80 laisse passer une partie du faisceau 8 vers la cible et réfléchit une partie du faisceau 10 vers cette dernière. Un moyen d'arrêt de faisceau 84 est prévu pour arrêter le reste du faisceau 10 (non réfléchi vers la cible).

De même, le miroir percé 82, dont le perçage, est plus grand que celui du miroir 80, laisse passer une partie des faisceaux 8 et 10 vers la cible et réfléchit une partie du faisceau 12 vers cette dernière. Un moyen d'arrêt de faisceau 86 est prévu pour arrêter le reste du faisceau 12 (non réfléchi vers la cible).

un doublet achromatique de focalisation 88 est prévu pour focaliser les faisceaux issus des miroirs alignés 14, 80 et 82 sur la cible.

Une autre variante de réalisation de l'invention est schématiquement et partiellement représentée sur la figure 7. Dans cette variante, on remplace le miroir percé 80 par un miroir à bord vif 90 prévu pour réfléchir, vers la cible, une partie du faisceau 8 vers cette cible. Un moyen d'arrêt de faisceau 94 est prévu pour arrêter le reste du faisceau 10 (non réfléchi vers la cible).

lasers ($N=10$ par exemple) arrivent alors sur la cible exactement au même moment.

Une variante de réalisation de l'invention est schématiquement et partiellement représentée sur la figure 6. Dans cette variante, on met en œuvre un multiplexage spatial des faisceaux laser 8, 10 et 12 avant des les focaliser sur la cible P.

Pour ce faire, on remplace les deux derniers miroirs 14 (haut de la figure 4), qui sont associés aux faisceaux 10 et 12, par deux miroirs percés 80 et 82, alignés avec le dernier miroir 14 (haut de la figure 4), qui est associé au faisceau 8.

Ainsi le miroir percé 80 laisse passer une partie du faisceau 8 vers la cible et réfléchit une partie du faisceau 10 vers cette dernière. Un moyen d'arrêt de faisceau 84 est prévu pour arrêter le reste du faisceau 10 (non réfléchi vers la cible).

De même, le miroir percé 82, dont le perçage est plus grand que celui du miroir 80, laisse passer une partie des faisceaux 8 et 10 vers la cible et réfléchit une partie du faisceau 12 vers cette dernière. Un moyen d'arrêt de faisceau 86 est prévu pour arrêter le reste du faisceau 12 (non réfléchi vers la cible).

un doublet achromatique de focalisation 88 est prévu pour focaliser les faisceaux issus des miroirs alignés 14, 80 et 82 sur la cible.

Une autre variante de réalisation de l'invention est schématiquement et partiellement représentée sur la figure 7. Dans cette variante, on met en œuvre un multiplexage spatial des faisceaux laser 8, 10 et 12 avant des les focaliser sur la cible P.

On remplace également le miroir percé 82 par un autre à bord vif 92 prévu pour réfléchir, vers la cible, une partie du faisceau incident 12, en laissant passer, à sa périphérie, une partie des faisceaux 8 et 5 10 vers cette cible. Un moyen d'arrêt de faisceau 96 est prévu pour arrêter le reste du faisceau 12 (non réfléchi vers la cible).

Les doublets achromatiques de focalisation 20, 22, 24 et 88 sont avantageusement étudiés pour 10 minimiser les aberrations. Mais ils peuvent être remplacées par des miroirs courbes.

prévu pour réfléchir, vers la cible, une partie du faisceau 8 vers cette cible. Un moyen d'arrêt de faisceau 94 est prévu pour arrêter le reste du faisceau 10 (non réfléchi vers la cible).

5 On remplace également le miroir percé 82 par un autre à bord vif 92 prévu pour réfléchir, vers la cible, une partie du faisceau incident 12, en laissant passer, à sa périphérie, une partie des faisceaux 8 et 10 vers cette cible. Un moyen d'arrêt de faisceau 96
10 est prévu pour arrêter le reste du faisceau 12 (non réfléchi vers la cible).

 Les doublets achromatiques de focalisation 20, 22, 24 et 88 sont avantageusement étudiés pour minimiser les aberrations. Mais ils peuvent être
15 remplacées par des miroirs courbes.

REVENDECATIONS

1- Cavité laser à milieu amplificateur solide, cette cavité laser étant impulsionnelle et pompée par des diodes fonctionnant de façon continue, caractérisée en ce qu'elle comprend :

- au moins deux barreaux laser,
- au moins un moyen de déclenchement des impulsions optiques situé dans la partie de la cavité où le faisceau diverge le moins, et
- deux miroirs qui délimitent cette cavité, l'un étant hautement réfléchissant et l'autre partiellement réfléchissant .

2- Cavité laser selon ~~la~~ la revendication 1, dans laquelle les barreaux laser sont en matériau isotrope comme le Nd : YAG ou le Yb : YAG, la cavité comportant aussi sur le trajet du faisceau un moyen de rotation de la polarisation, dans chacun des espaces constitués par deux barreaux successifs, cette rotation étant préférentiellement de 90 .

3- Cavité laser selon à la revendication 1, comportant aussi, au milieu de chaque intervalle entre deux barreaux adjacents, une lentille de préférence divergente.

4. Cavité laser selon la revendication 1, dans laquelle le matériau laser ^{est} choisi dans le groupe comprenant Nd : YAG, Nd : YLF, Nd : YALO, Yb : YAG, Nd : ScO₃ et Yb : Y₂O₃.

5. Cavité laser selon l'une quelconque des revendications 1 et 2, comprenant deux barreaux (~~38a~~, 38b) sensiblement identiques en matériau laser et des

REVENDEICATIONS

1. Cavité laser à milieu amplificateur solide, cette cavité laser étant impulsionnelle et pompée par des diodes fonctionnant de façon continue, caractérisée en ce qu'elle comprend :

- au moins deux barreaux laser,
- au moins un moyen de déclenchement des impulsions optiques situé dans la partie de la cavité où le faisceau diverge le moins, et
- deux miroirs qui délimitent cette cavité, l'un étant hautement réfléchissant et l'autre partiellement réfléchissant .

2. Cavité laser selon la revendication 1, dans laquelle les barreaux laser sont en matériau isotrope comme le Nd : YAG ou le Yb : YAG, la cavité comportant aussi sur le trajet du faisceau un moyen de rotation de la polarisation, dans chacun des espaces constitués par deux barreaux successifs, cette rotation étant préférentiellement de 90°.

3. Cavité laser selon à la revendication 1, comportant aussi, au milieu de chaque intervalle entre deux barreaux adjacents, une lentille de préférence divergente.

4. Cavité laser selon la revendication 1, dans laquelle le matériau laser est choisi dans le groupe comprenant Nd : YAG, Nd : YLF, Nd : YALO, Yb : YAG, Nd : ScO₃ et Yb : Y₂O₃.

5. Cavité laser selon l'une quelconque des revendications 1 et 2, comprenant deux barreaux (38a, 38b) essentiellement identiques en matériau laser et des

moyens de rotation de polarisation placés dans la cavité entre ces deux barreaux.

6. Cavité laser selon la revendication 3, dans laquelle les moyens de déclenchement de chaque laser solide impulsional comprennent deux déclencheurs placés dans la cavité de celui-ci, de part et d'autre des moyens de rotation de polarisation, entre ces derniers et les barreaux en matériau laser.

7. Cavité laser selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans laquelle les moyens de déclenchement (50, 52) sont de type acousto-optique.

8. Cavité laser selon la revendication 1, suivie d'un ou plusieurs amplificateur simple passage.

9. Dispositif laser, caractérisé en ce qu'il comprend :

- au moins trois cavités laser impulsionales (2, 4, 6) selon l'une quelconque des revendications 1 à 3 et 8, et - des moyens (14) d'envoi des impulsions lumineuses sensiblement au même endroit d'une cible (16) et sensiblement en même temps à cet endroit,

- et en ce que le dispositif comprend en outre des moyens (18) de commande des lasers solides impulsions, ces moyens de commande étant prévus pour un fonctionnement synchrone de tous les moyens de déclenchement que comporte le dispositif.

10. Dispositif selon la revendications 9, comprenant au moins dix lasers solides impulsions (2, 4, 6) en parallèle.

11. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 9 et 10, dans lequel les moyens d'envoi

moyens de rotation de polarisation placés dans la cavité entre ces deux barreaux.

6. Cavité laser selon la revendication 3, dans laquelle les moyens de déclenchement de chaque laser solide impulsif comprennent deux déclencheurs placés dans la cavité de celui-ci, de part et d'autre des moyens de rotation de polarisation, entre ces derniers et les barreaux en matériau laser.

7. Cavité laser selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans laquelle les moyens de déclenchement (50, 52) sont de type acousto-optique.

8. Cavité laser selon la revendication 1, suivie d'un ou plusieurs amplificateur simple passage

9. Dispositif laser, caractérisé en ce qu'il comprend :

- au moins trois cavités laser impulsives (2, 4, 6) selon l'une quelconque des revendications 1 à 3 et 8, et
- des moyens (14) d'envoi des impulsions lumineuses sensiblement au même endroit d'une cible (16) et sensiblement en même temps à cet endroit,

et en ce que le dispositif comprend en outre des moyens (18) de commande des lasers solides impulsifs, ces moyens de commande étant prévus pour un fonctionnement synchrone de tous les moyens de déclenchement que comporte le dispositif.

10. Dispositif selon la revendication 9, comprenant au moins dix lasers solides impulsifs (2, 4, 6) en parallèle.

11. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 9 à 10, dans lequel les moyens d'envoi

des impulsions lumineuses comprennent des moyens (80, 82, 90, 92) pour envoyer ces impulsions lumineuses sur la cible (16) suivant le même trajet.

12. Dispositif selon l'une quelconque des
5 revendications 9 à 11, comprenant en outre des moyens (74, 76, 78) de modification de la répartition spatiale de l'impulsion lumineuse résultant de l'addition des impulsions lumineuses fournies par les lasers.

13. Dispositif selon l'une quelconque des
10 revendications 9 à 12, dans lequel les moyens (18) de commande des lasers sont en outre aptes à modifier la répartition temporelle de l'impulsion lumineuse résultant de l'addition des impulsions lumineuses fournies par les lasers, afin de créer des impulsions
15 composites.

14. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 9 à 13, dans lequel le profil de chaque impulsion composite comporte une première impulsion d'allumage du plasma destinée à être créée par
20 interaction des impulsions lumineuses avec la cible, un intervalle de temps où l'énergie est minimale pendant la croissance du plasma, puis une seconde impulsion, composée de plusieurs impulsions élémentaires, selon une séquence fonction de la croissance du plasma.

15. Dispositif selon l'une quelconque des
25 revendications 9 à 14, comprenant en outre des moyens (18) de modification de la cadence de récurrence des impulsions lumineuses émises par les lasers ou de la séquence de ces impulsions lumineuses émises par les
30 lasers.

des impulsions lumineuses comprennent des moyens (80, 82, 90, 92) pour envoyer ces impulsions lumineuses sur la cible (16) suivant le même trajet.

5 12. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 9 à 11, comprenant en outre des moyens (74, 76, 78) de modification de la répartition spatiale de l'impulsion lumineuse résultant de l'addition des impulsions lumineuses fournies par les lasers.

10 13. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 9 à 12, dans lequel les moyens (18) de commande des lasers sont en outre aptes à modifier la répartition temporelle de l'impulsion lumineuse résultant de l'addition des impulsions lumineuses fournies par les lasers, afin de créer des impulsions
15 composites.

14. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 9 à 13, dans lequel le profil de chaque impulsion composite comporte une première impulsion d'allumage du plasma destinée à être créée par
20 interaction des impulsions lumineuses avec la cible, un intervalle de temps où l'énergie est minimale pendant la croissance du plasma, puis une seconde impulsion, composée de plusieurs impulsions élémentaires, selon une séquence fonction de la croissance du plasma.

25 15. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 9 à 14, comprenant en outre des moyens (18) de modification de la cadence de récurrence des impulsions lumineuses émises par les lasers ou de la séquence de ces impulsions lumineuses émises par les
30 lasers.

16. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 9 ~~à~~ 15, apte à envoyer un premier faisceau très focalisé (F1) sur la cible, puis à appliquer le reste de l'énergie lumineuse sur la cible avec une focalisation plus large.

17. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 9 à 16, dans lequel la cible (16) est prévue pour fournir une lumière dans le domaine extrême ultraviolet par interaction avec les impulsions lumineuses émises par les lasers (2, 4, 6).

16. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 9 à 15, apte à envoyer un premier faisceau très focalisé (F1) sur la cible, puis à appliquer le reste de l'énergie lumineuse sur la cible
5 avec une focalisation plus large.

17. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 9 à 16, dans lequel la cible (16) est prévue pour fournir une lumière dans le domaine extrême ultraviolet par interaction avec les impulsions
10 lumineuses émises par les lasers (2, 4, 6).

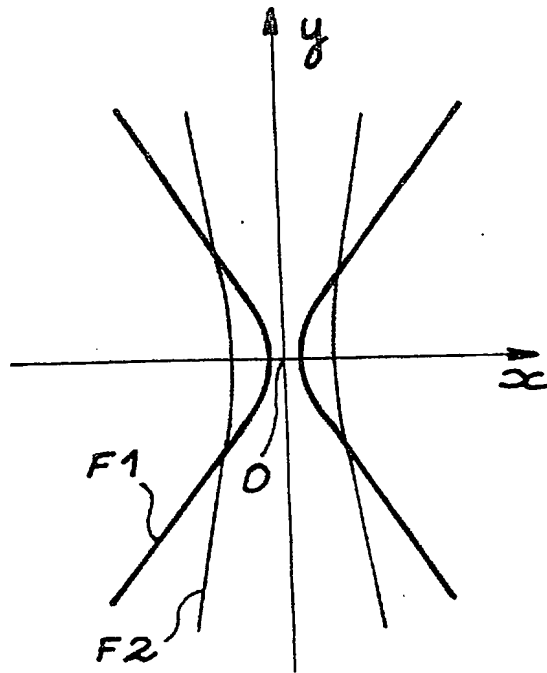


FIG. 1

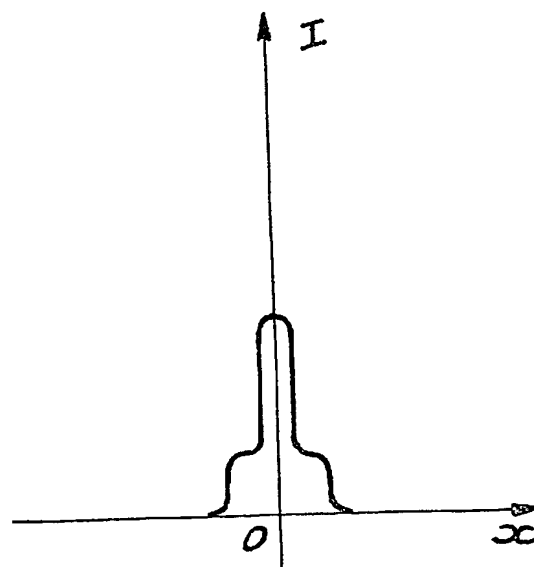


FIG. 2

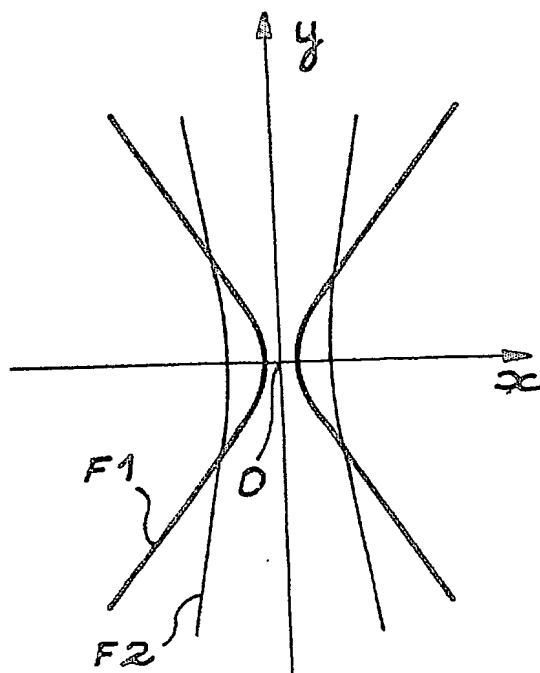
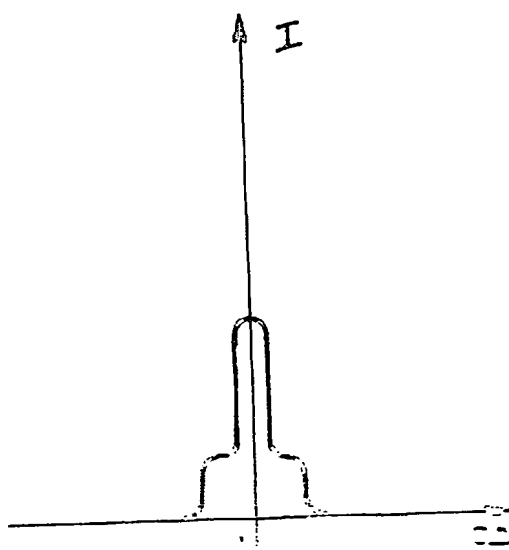
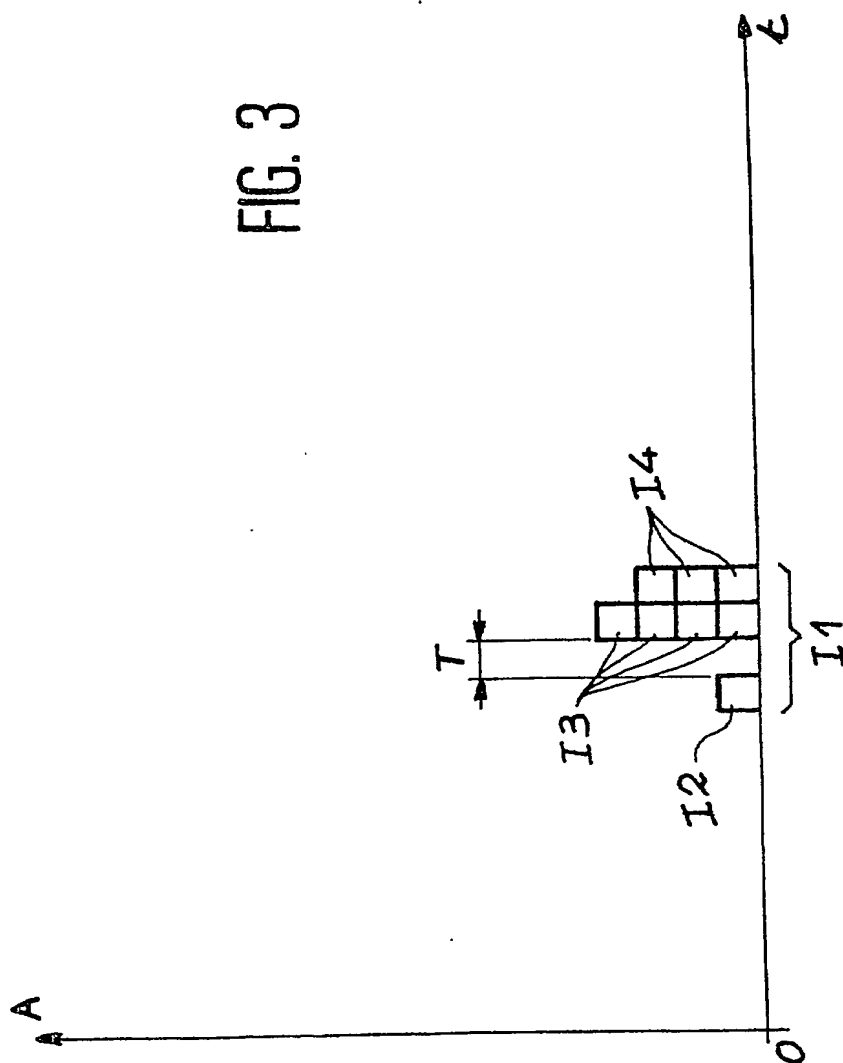
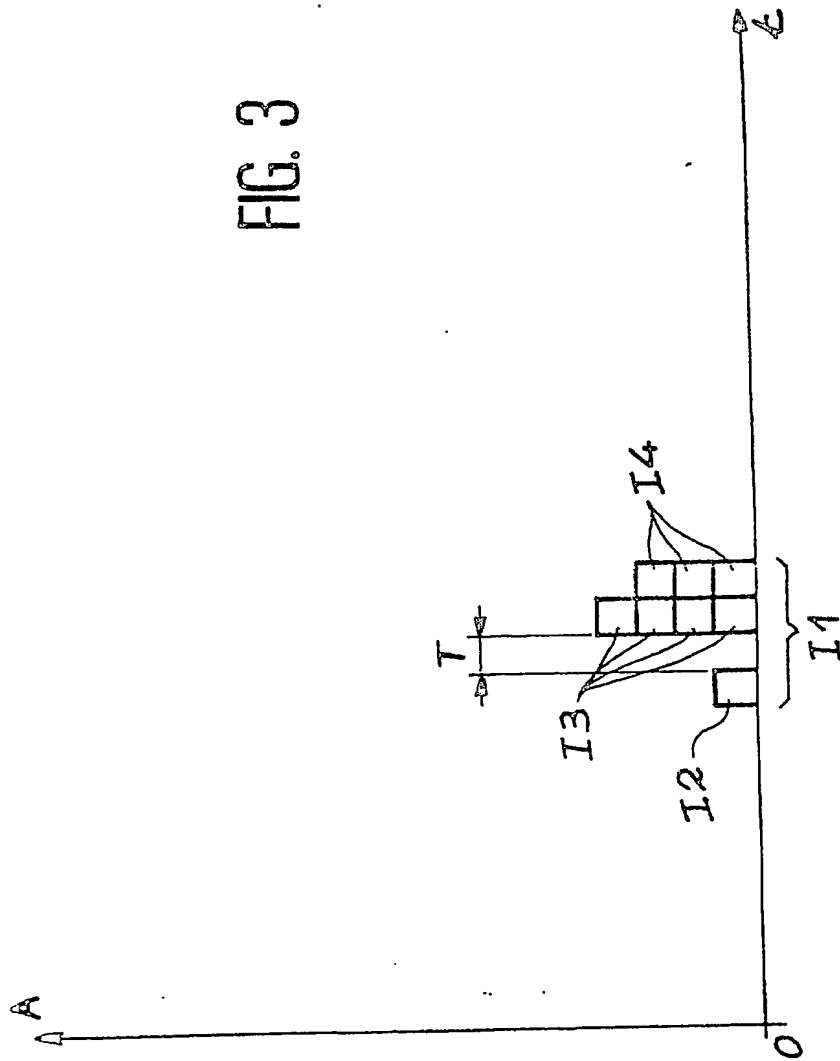


FIG. 1



2 / 4





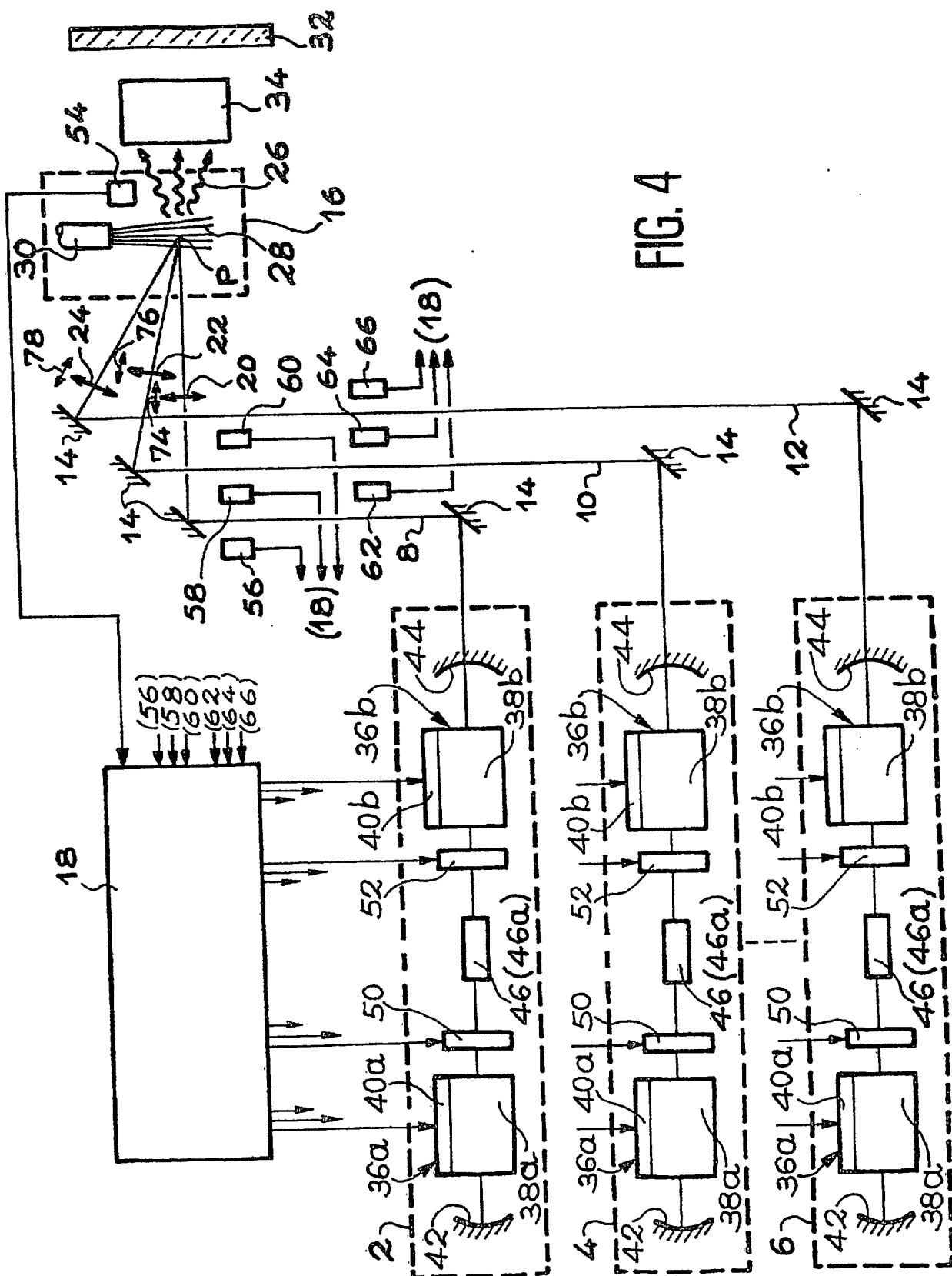
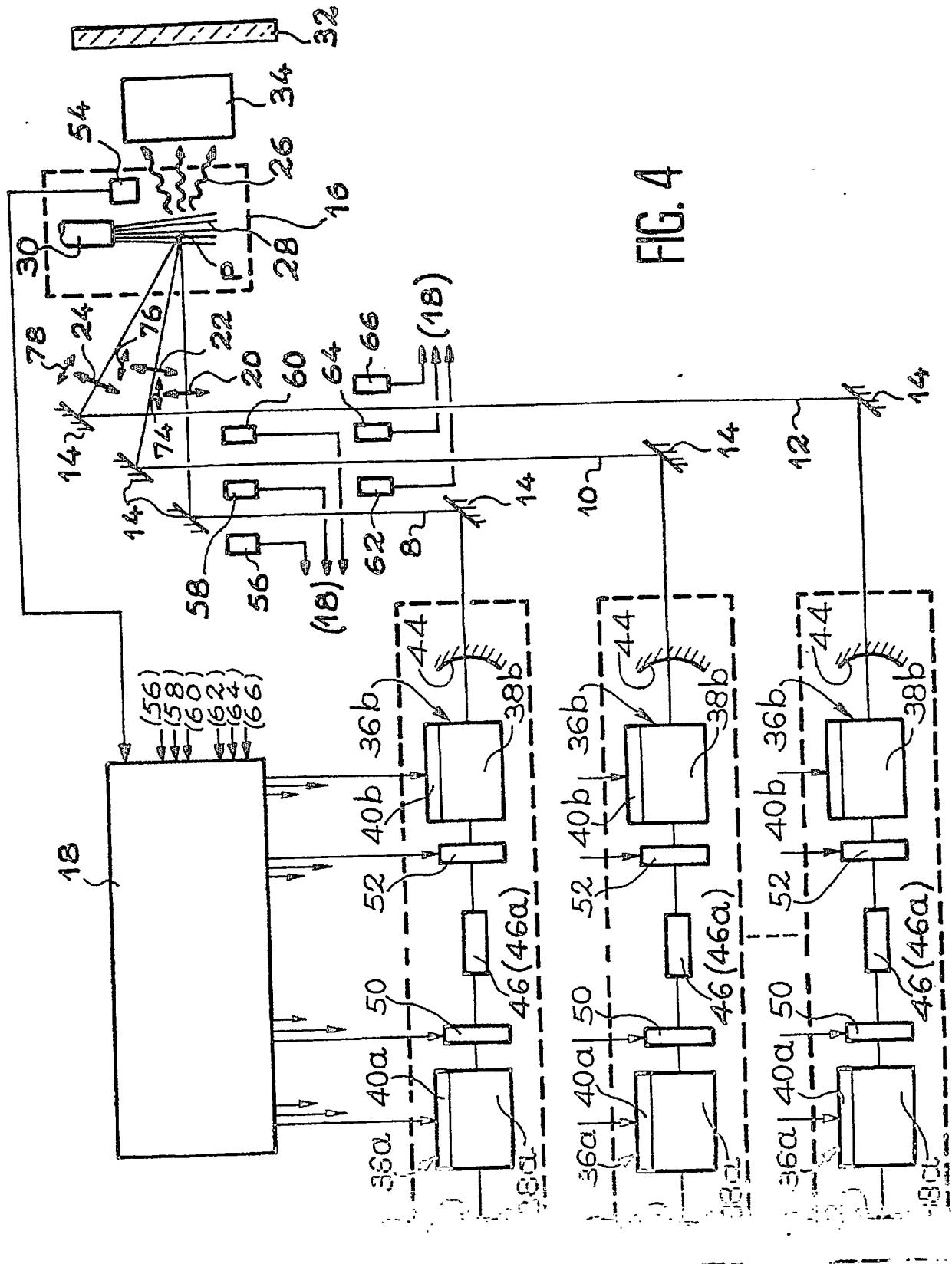
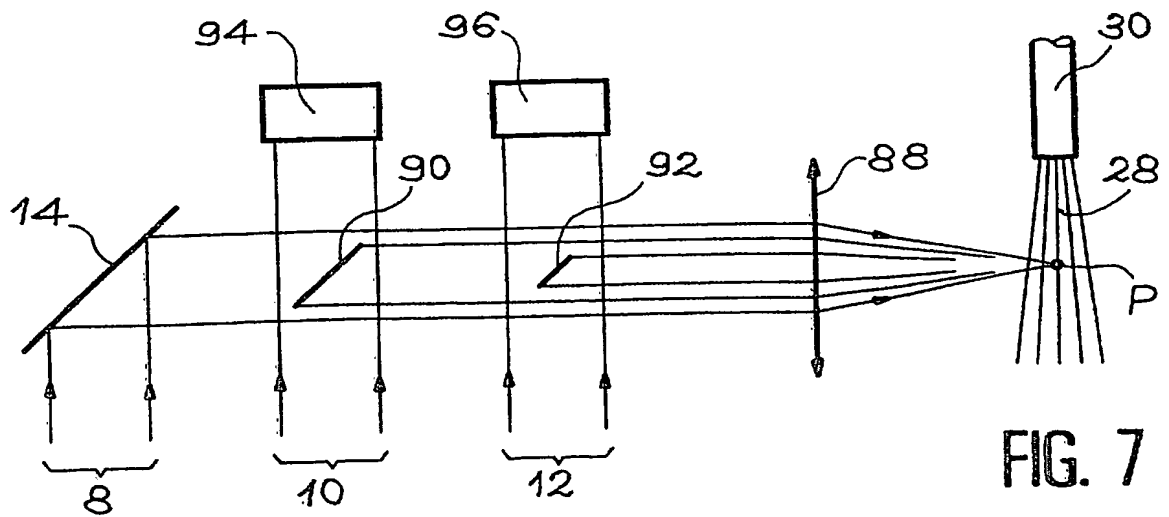
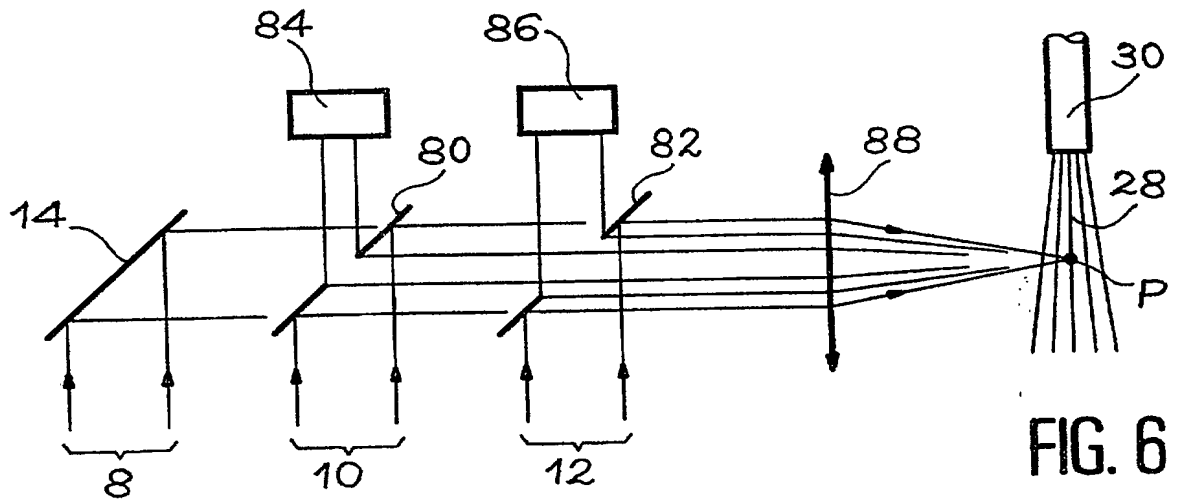
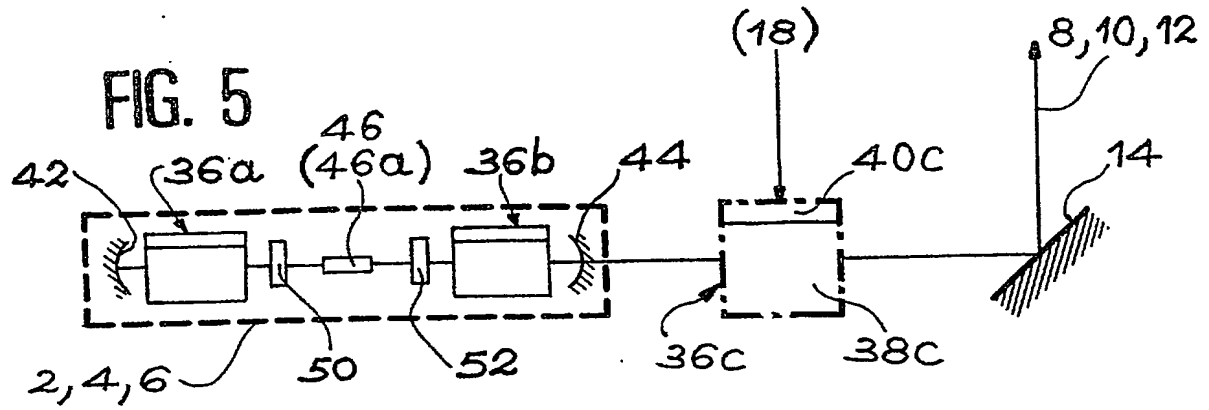


FIG. 4





4 / 4

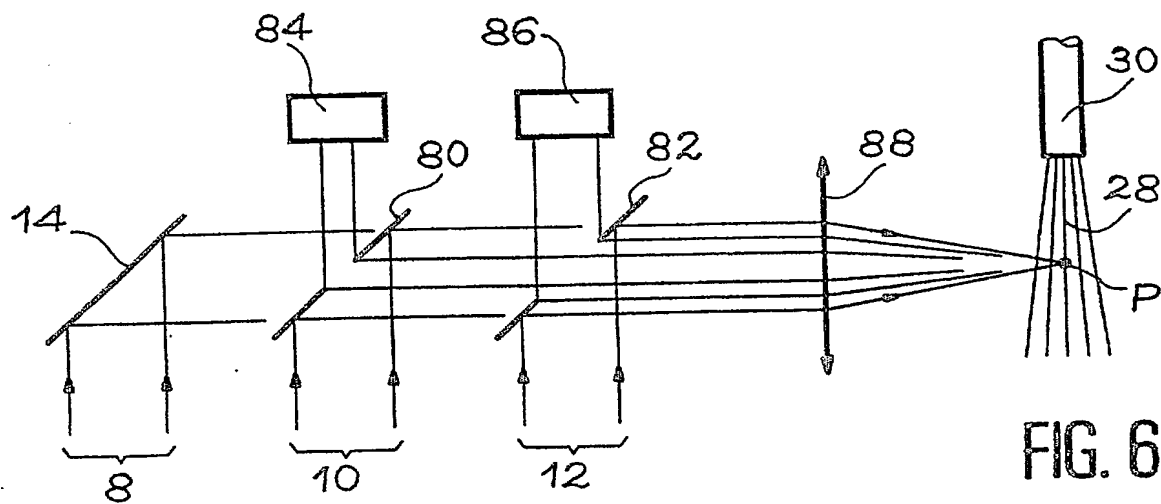
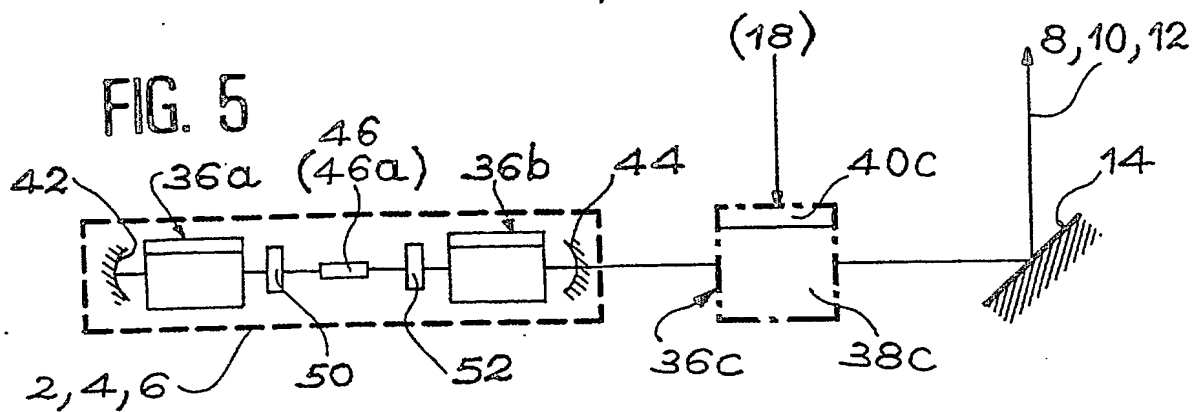
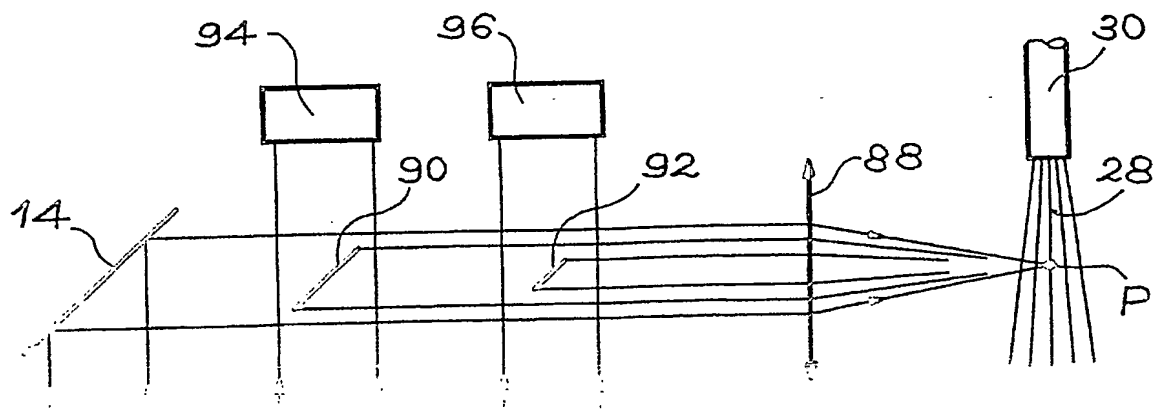


FIG. 6



DÉPARTEMENT DES BREVETS

26 bis, rue de Saint Pétersbourg

75800 Paris Cedex 08

Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 93 59 30

DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S) Page N° 1. / 1.

(Si le demandeur n'est pas l'inventeur ou l'unique inventeur)

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 113 W / 260899

Vos références pour ce dossier (facultatif)		B14074.3/PV BD1428	
N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL		02.03964 du 28.03.2002	
TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum)			
CAVITE LASER DE FORTE PUISSANCE CRETE ET ASSOCIATION DE PLUSIEURS DE CES CAVITES, NOTAMMENT POUR EXCITER UN GENERATEUR DE LUMIERE DANS L'EXTREME ULTRAVIOLET.			
LE(S) DEMANDEUR(S) :			
COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE 31/33 rue de la Fédération 75752 PARIS 15ème			
DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) : (Indiquez en haut à droite «Page N° 1/1» S'il y a plus de trois inventeurs, utilisez un formulaire identique et numérotez chaque page en indiquant le nombre total de pages).			
Nom		THRO	
Prénoms		Pierre Yves	
Adresse	Rue	2 rue Raoul Dautry	
	Code postal et ville	91190	GIF SUR YVETTE
Société d'appartenance (facultatif)			
Nom		WEULERSSE	
Prénoms		Jean-Marc	
Adresse	Rue	169 Chemin de la Hunière	
	Code postal et ville	91120	PALaiseau
Société d'appartenance (facultatif)			
Nom		GILBERT	
Prénoms		Michel	
Adresse	Rue	8 bis Bld Georges Seneuze	
	Code postal et ville	91440	BURES SUR YVETTE
Société d'appartenance (facultatif)			
DATE ET SIGNATURE(S) DU (DES) DEMANDEUR(S) OU DU MANDATAIRE (Nom et qualité du signataire) PARIS LE 16 JUILLET 2002 J. LEHU 422-5/002			

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☐ BLACK BORDERS

☒ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES

☐ FADED TEXT OR DRAWING

☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING

☐ SKEWED/SLANTED IMAGES

☒ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS

☐ GRAY SCALE DOCUMENTS

☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT

☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY

☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.